

测绘空间信息与卫星激光测高 数据处理

汇报人：李国元
单位：自然资源部国土卫星遥感应用中心

地理智慧 链接未来
Geo-intelligence, Connecting the Future

2020 GIS 软件技术大会
GIS Software Technology Conference 2020



测绘地理信息蓝皮书

BLUE BOOK OF CHINA'S SURVEYING & MAPPING & GEONFORMATION

No.11

新时代测绘地理信息 研究报告 (2019)

主编/库热西·买合苏提

副主编/陈常松

执行主编/陈常松 乔朝飞

REPORT ON NATIONAL GEOGRAPHIC CONDITION
MONITORING IN THE NEW ERA (2019)

2019
版

社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (SSAP)

I 主报告

- .1 新时代测绘地理信息研究报告 陈常松 乔朝飞 等 / 001
- 测绘地理信息工作面临的新形势 / 002
- 二 新时代对测绘地理信息提出的新需求 / 005
- 三 测绘地理信息供给现状 / 009
- 四 测绘地理信息供给存在的问题和不足 / 013
- 五 加强新时代测绘地理信息供给的有关建议 / 016
- II 公共服务篇
- .2 新型基础测绘体系思考与探索 武文忠 / 022

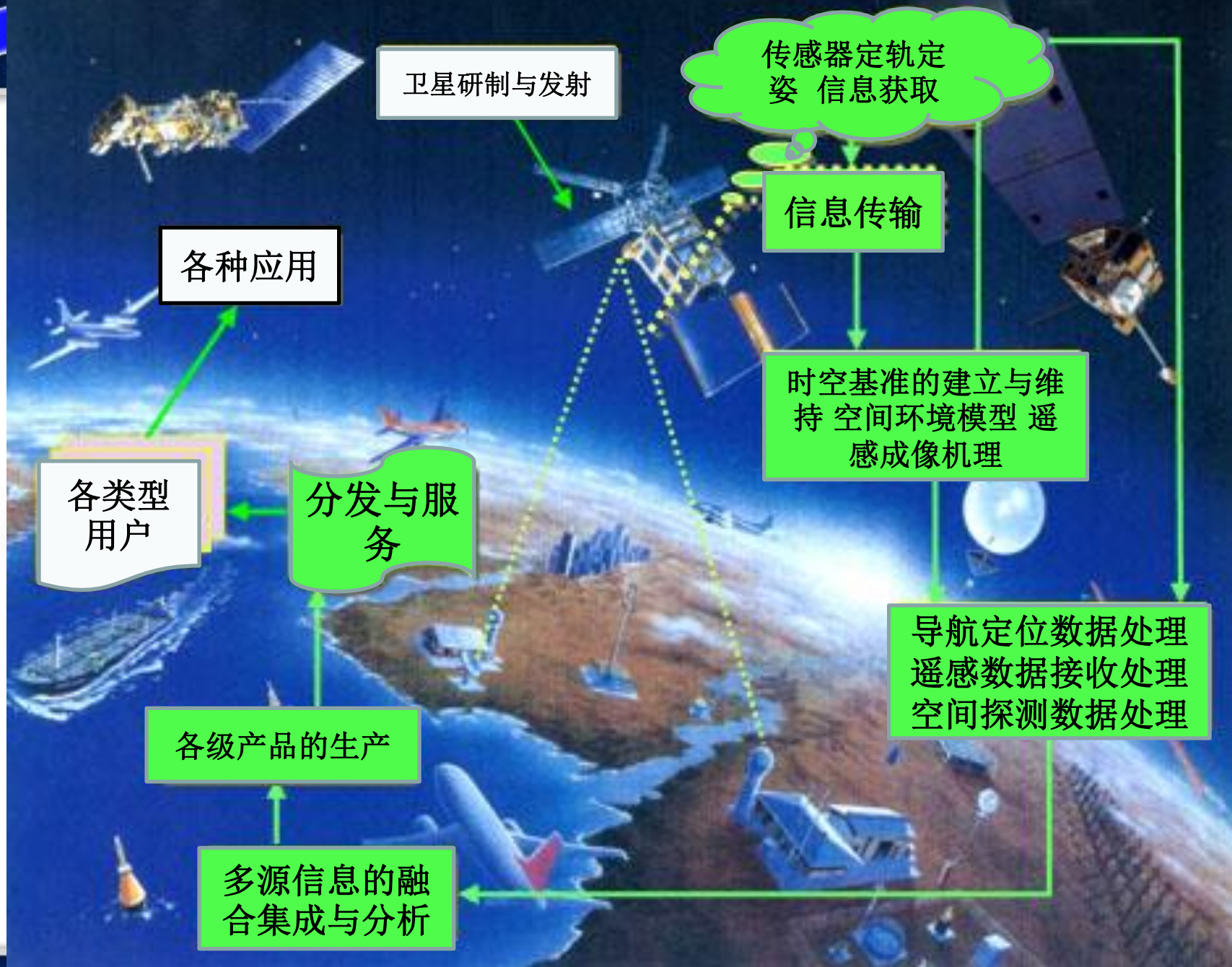
III 科技创新篇

- .9 推行实景三维地理信息技术的思考 李德仁 杨必胜 等 / 107
- .10 认识·方法·实践
- 基于城市空间地理信息大数据的城市体检 温宗勇 邢晓娟 / 126
- .11 我国自然资源陆地遥感卫星体系发展与展望 唐新明 李国元 等 / 144
- .12 海洋测绘发展研究 周兴华 付延光 等 / 157
- .13 倾斜摄影技术创新应用与发展 黄杨 李德江 / 170
- .14 省级国土空间规划信息平台构建探索 卢小平 熊长喜 等 / 182

IV 地方篇

- .15 测绘地理信息工作定位的实践与思考 徐开明 / 191
- .16 做好测绘地理信息工作, 为建设“强富美高”新江苏提供强有力基础保障 文
- .17 浙江创新测绘地理信息工作的思路与举措 盛乐山 / 213





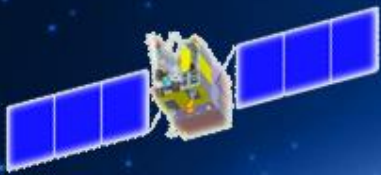


自然资源部国土卫星遥感应用中心

Land Satellite Remote Sensing Application Center, Ministry of Natural Resources

遥感卫星是测绘空间地理信息 获取的重要手段 激光测高卫星是遥感卫星的 重要组成部分



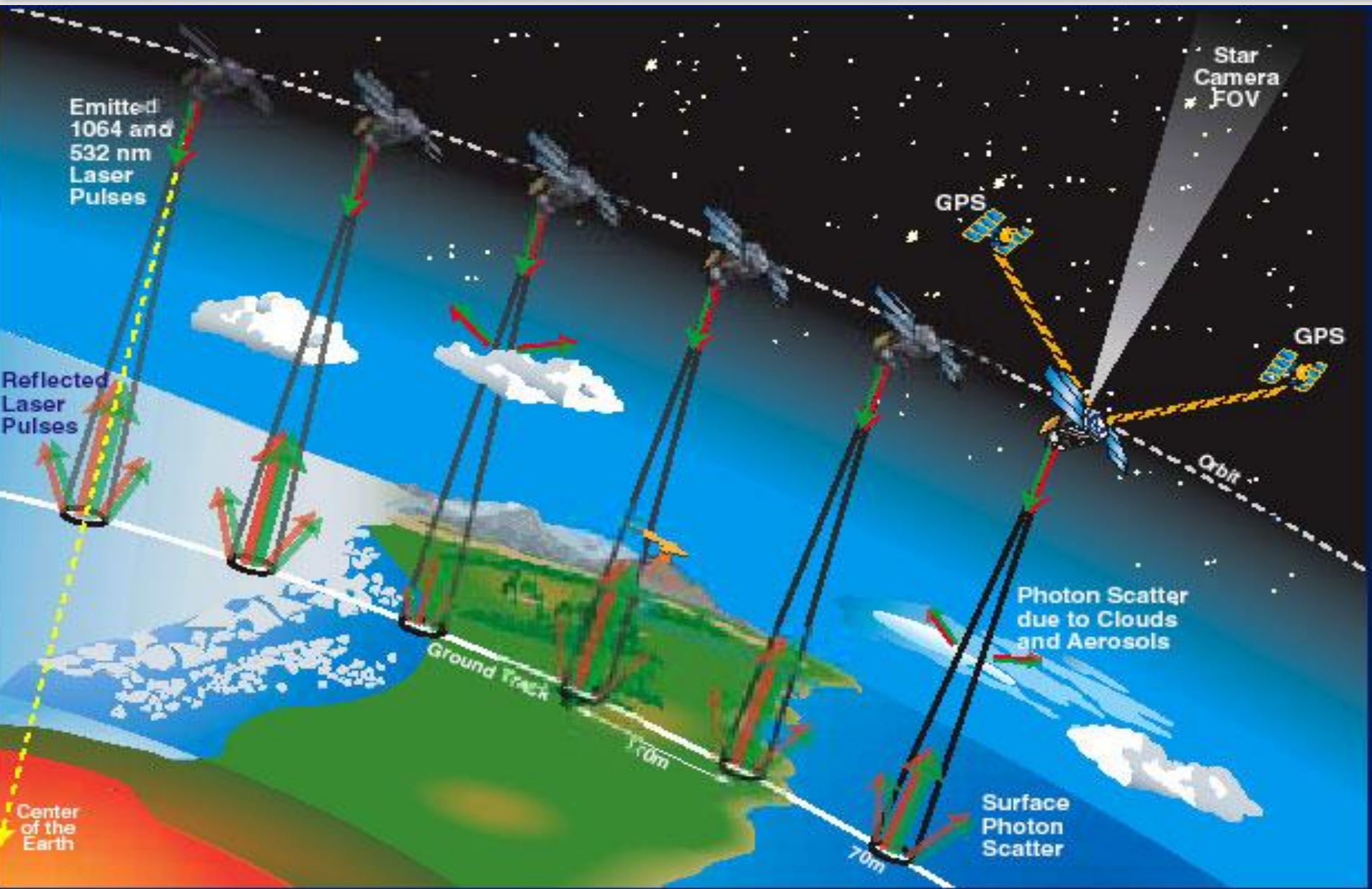


目录

- 国内外现状及趋势
- 激光测高卫星的应用领域
- 激光测高卫星数据处理技术
- 国产卫星激光测高数据处理实践
- 新型激光测高卫星技术
- 存在的问题及解决途径
- 总结与展望



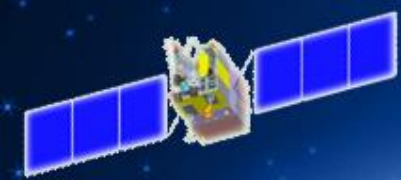
激光测高卫星的发展





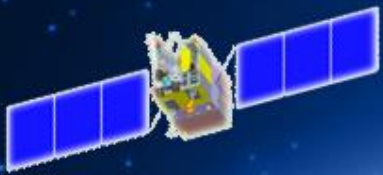
国内外现状与趋势

卫星名称	发射时间	国别	探测方式(线性/单光子)	激光光束数	发射脉宽(ns)	足印间隔(m)	重访天数	足印大小(m)	高程测量精度(m)	用途
Clementine	1994	美国	线性	1波束	10	100		250	40	月球地形地貌
SLA-01/02	1996/97	美国	线性	1波束	10	750		100	1.5	地球, 全球高程控制点
MGS/MOLA	1996	美国	线性	1波束	5	330		160	10	火星表面地形地貌
NEAR/NLR	1996	美国	线性	1波束	12			15	<6	小行星 Eros表面地形
ICESat-1/GLAS	2003	美国	线性	1波束	6	170	8/183	70	0.15	地球陆地地表高程、植被高、极地冰盖、海冰、大气等
Messenger/MLA	2006	美国	线性	1波束	6		176		<1	水星表面形貌
SELENE/LALT	2007	日本	线性	1波束	17				5	月球表面地形地貌
CE-1/LAM	2007	中国	线性	1波束	5-7	1400		200	5	月球表面地形地貌
LRO/LOLA	2009	美国	线性	5波束	5	25	37	5	0.1	月球表面地形地貌



国内外现状与趋势

CE-2	2010	中国	线性	1波束	10			40	5	月球表面地形\着陆区地形
资源三号02星	2016	中国	线性	1波束	7	3500	59	50	1.0	试验性激光测高载荷
BELA	2019	欧洲	线性	1波束	10	250		24	1.9	已发射（水星）
高分七号	2019	中国	线性	2波束	7	2330	59	30	1.0	已发射（广义激光高程控制点）
陆地生态系统碳监测卫星	2020	中国	线性	5波束	7	200	59	25~30	1.0	待发射（林业碳储量监测、广义激光高程控制点）
ICESat-2/ATLAS	2018	美国	单光子	6波束	1	0.7	91	10	0.1	已发射（极地冰盖监测等）
GEDI	2018	美国	线性	8波束	10	500		25	1.0	已发射（森林生物量测量）
LIST	2020年后	美国	单光子	1000波束	0.96	0.7		5	0.1	待发射（对地观测）



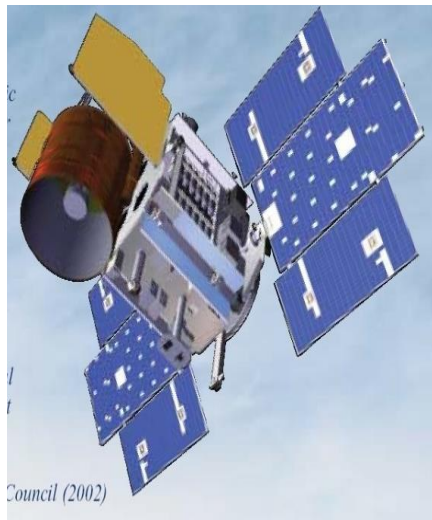
国内外现状及趋势

GLAS

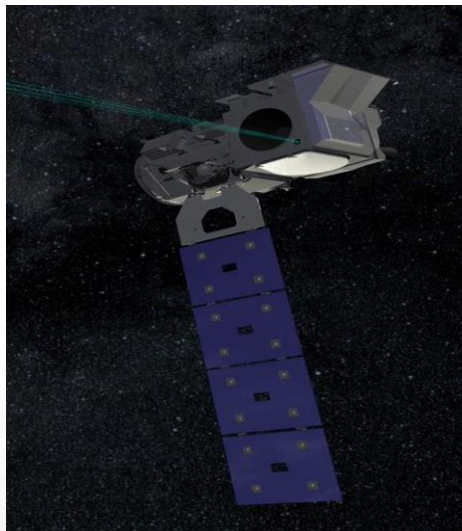
ATLAS

GEDI

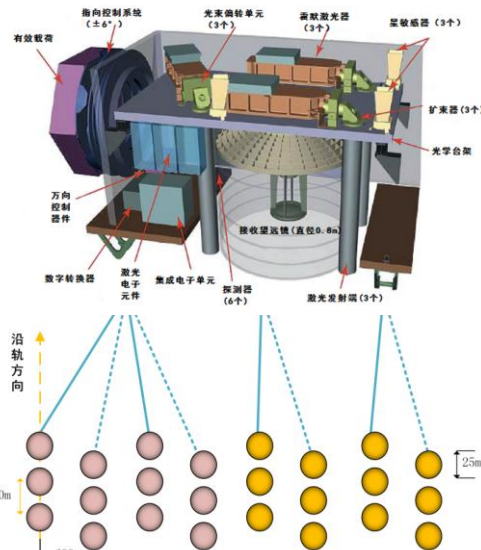
LIST



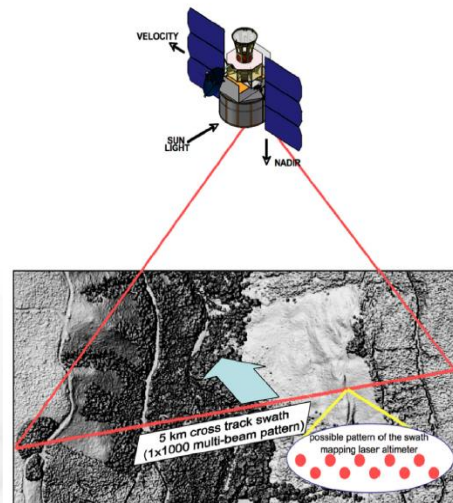
单波长、1波束对地激光测高，线性探测结合光子体制（气溶胶），80mJ量级（2003年）



6波束对地激光测高，光子探测，0.5mJ量级（2018年9月发射）



8波束对热带和温带的林业树高进行激光测量，线性探测，10mJ量级（2018年12月发射）



1000波束对地激光成像，光子探测，0.1mJ量级（2025规划）

发展趋势：激光波束越来越多、地面足印越来越小，体制由线性逐步向光子探测体制发展

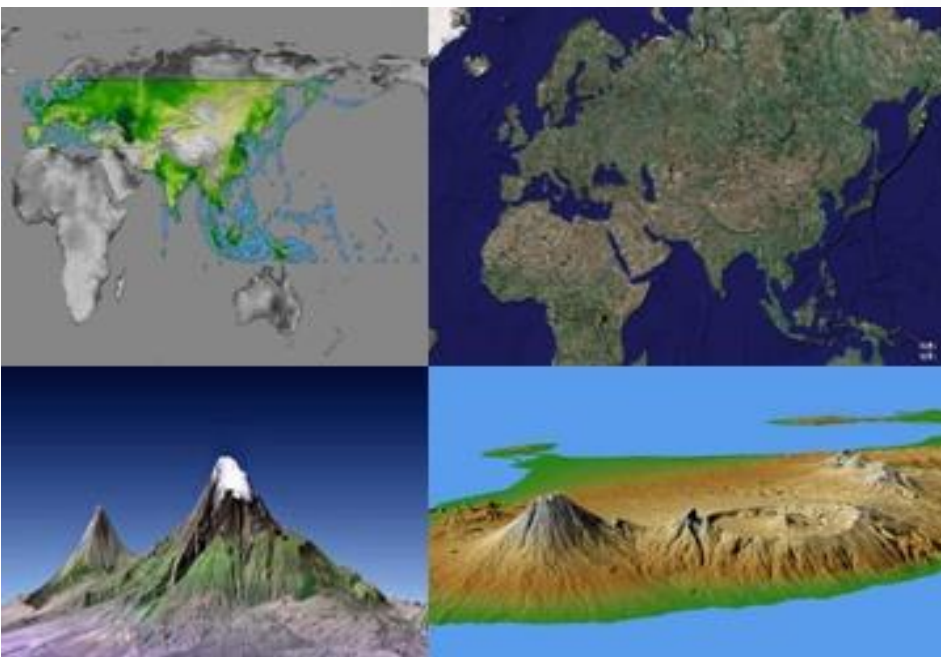




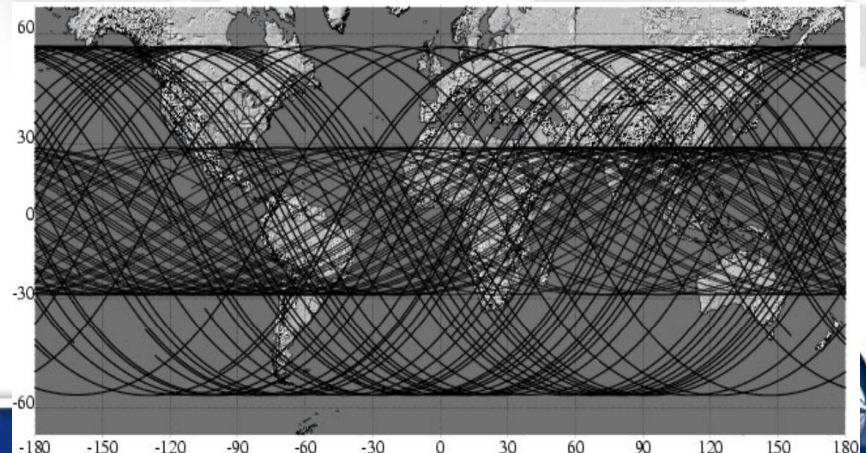
激光测高卫星的应用领域

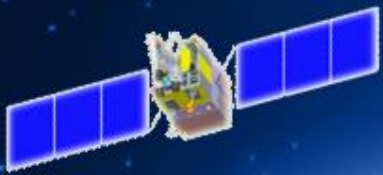
➤ 高精度控制点获取

地理信息作为重要的基础性战略资源，**全球地理信息资源开发**已经列入国家的第十三个五年规划纲要和《全国基础测绘中长期规划纲要（2015—2030年）》。1:5000及更高1:2000比例尺**高程控制点获取**是境内外测绘均需要解决的技术难点。激光测高卫星能获取高精度地面控制点，满足航天航空遥感立体测图应用需求。



美国在1996、1997年先后两次发射**SLA-01/02**，获得了全球南北纬56度范围的激光高程控制点，并修正了全球数字高度模型GTOP030 的精度。





激光测高卫星的应用领域

➤ 高精度控制点获取

以国产高分七号、陆地生态系统碳监测卫星激光测高数据为主，联合ICESat/GLAS、资源三号02星激光数据，构建覆盖全球/全国的广义激光高程控制点数据库。

- 形成全国统一的卫星测绘高程控制基准；
- 总体精度高程优于0.8m，平面优于10m；其中，东北、华北平原地区及东南部沿海发达地区，高程精度优于0.5m；西部山地地区优于1.5m；
- 满足光学、InSAR等卫星1:1万、1:5万比例尺立体测图高程控制需求；



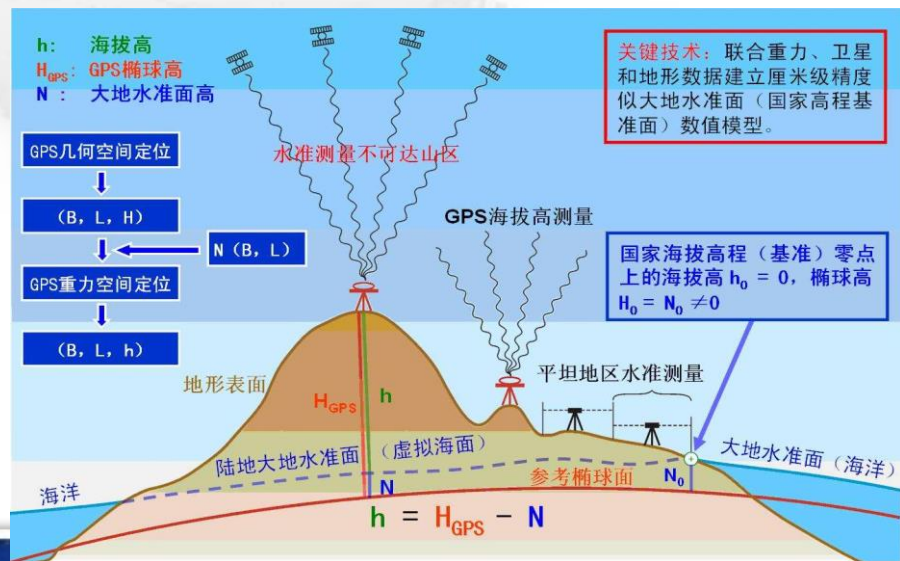
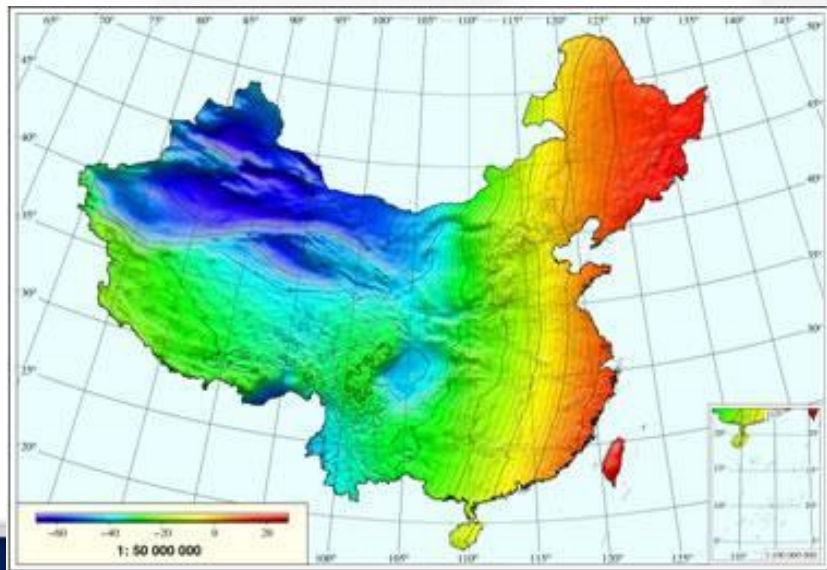


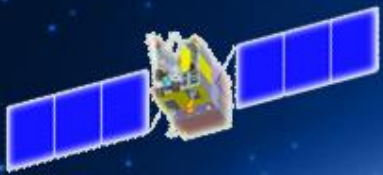
激光测高卫星的应用领域

➤ 陆海高程基准统一

传统水深和高程数据以不同的垂直基准面为参考，**水深测量和地形测量是分别进行的**，这就造成了陆海交界处的**不连续性**。陆海高程基准统一技术通过实现海域水深信息向高程基准的转换与统一，为陆海基础地理数据的集成提供**垂直基准变换与统一**的技术支撑。

海面地形是平均海面基准与大地水准面基准转换的纽带，对确定全球统一的高程基准具有重要的作用和意义。

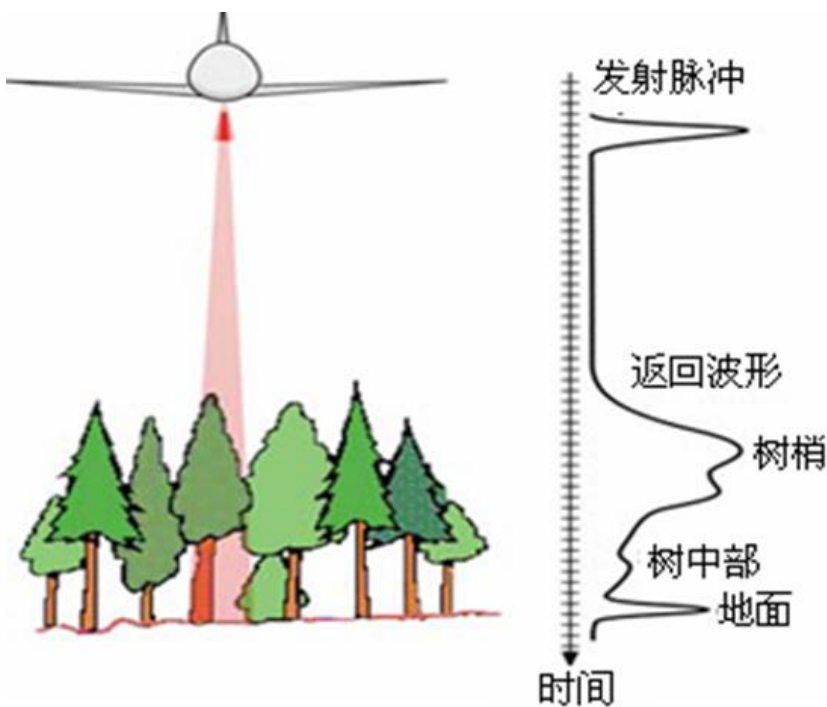




激光测高卫星的应用领域

➤ 林业树高及生物量估算

《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》提出要推进对森林、草原等的统计监测核算能力建设，并要求**用卫星遥感等技术手段**，对自然资源和生态环境保护状况开展全天候监测，健全覆盖所有资源环境要素的监测网络体系。



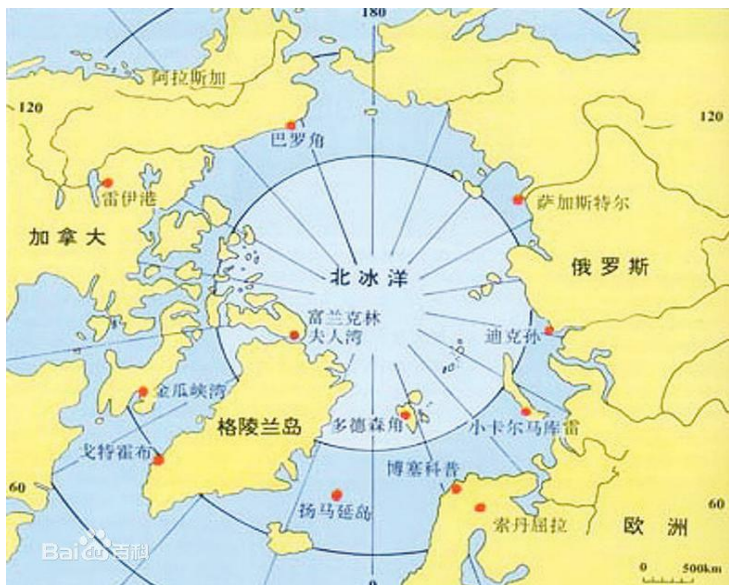
林业碳汇是我国林业应对气候变化国家战略的基础支撑，国家森林碳汇抵排战略要求建设内涵全面、数据权威、模型可靠、参数合理、反应快速的森林碳汇计量监测国家体系。以测准算清森林碳汇，科学阐明中国生态建设和保护对应对气候变化作用和贡献，**服务好国家气候变化内政外交两个大局。**





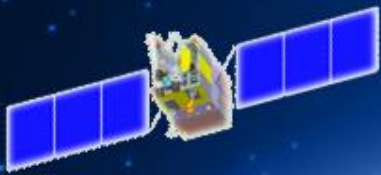
激光测高卫星的应用领域

➤ 南北极冰盖海冰测量 科学认知，数据为先；善治极地，数据为先。



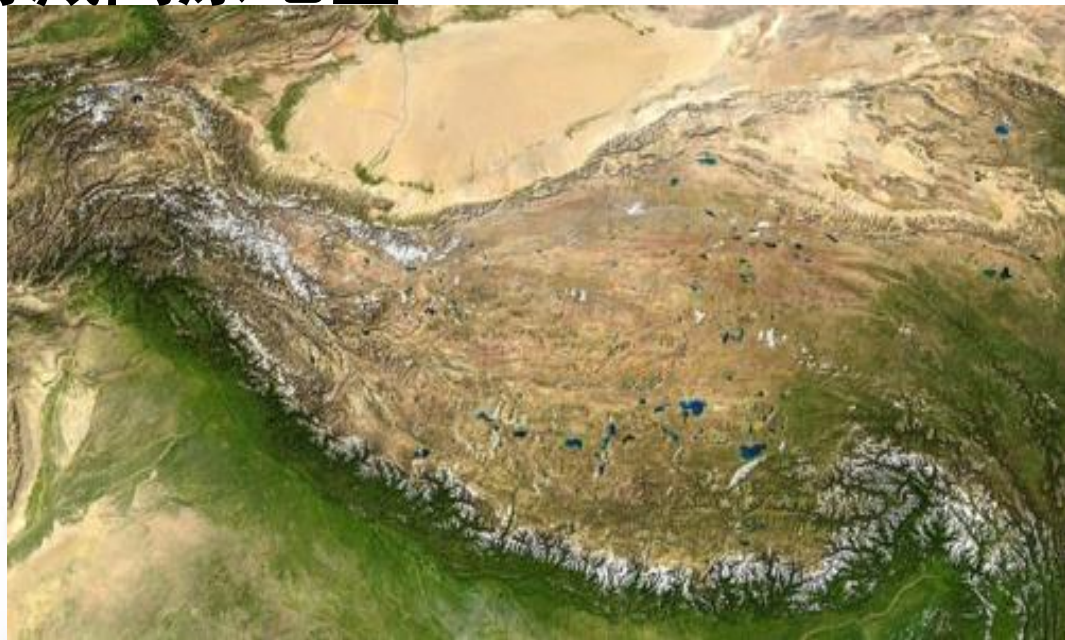
极地冰盖缺少纹理，传统的立体摄影测量难以识别同名点；微波容易穿透冰雪，难以精确测量高程。主动式激光测量是极地区域高程变化监测的最好手段。



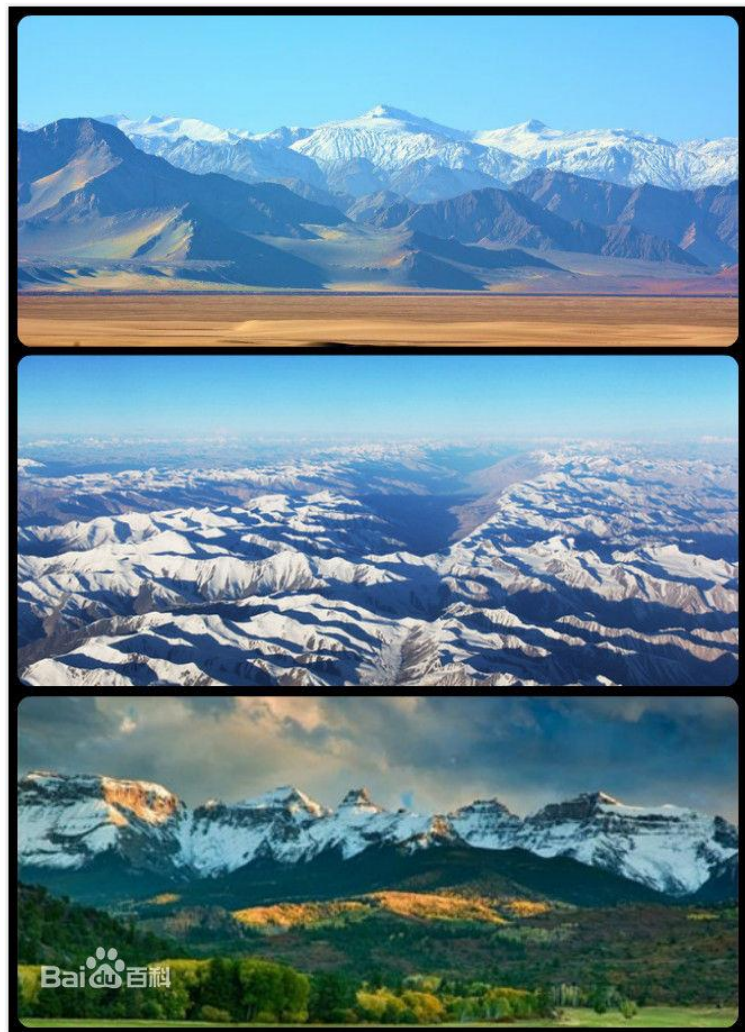


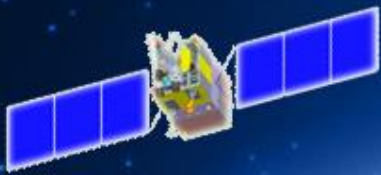
激光测高卫星的应用领域

➤ 世界第三极： 高极—青藏高原地区



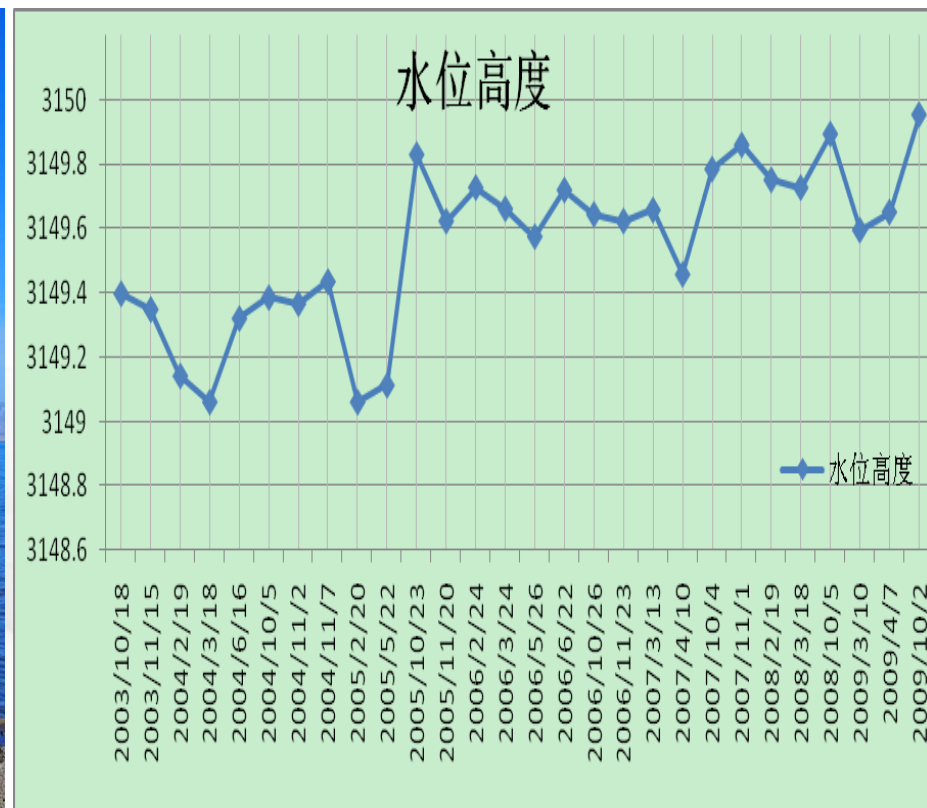
“第三极地区”也被称为**亚洲水塔**。该地区的冰川孕育着亚洲几大河流，成为维系十几个国家15亿人生活的重要水源。该地区的冰川正在快速消融，融水补给湖泊，导致湖泊水位上涨，而目前人类对该区域的变化及演变还知之甚少，**缺少有效的宏观观测手段和高精度测量数据。**





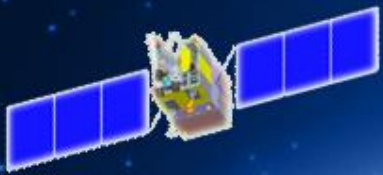
激光测高卫星的应用领域

➤ 大型湖泊水位监测



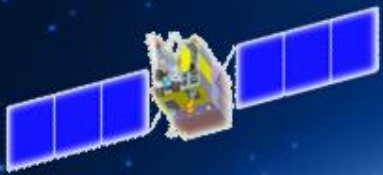
青海湖位于青海省西北部的青海湖盆地内，既是中国最大的内陆湖泊，也是中国最大的咸水湖。





激光测高卫星数据处理技术





激光测高卫星数据处理技术

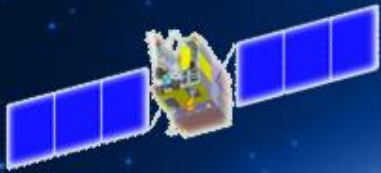
卫星激光测高是一种在**卫星平台**上搭载**激光测高仪**，并以一定频率**向地面**发射激光脉冲，通过测量激光从卫星到地面再返回的时间差，计算激光单向传输的精确距离，再结合精确测量的卫星轨道、姿态以及激光指向角，最终获得激光足印点三维坐标/**高程**的技术与方法。

精密定轨 精密定姿 几何检校 大气改正\几何检校 潮汐改正

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{ITRF} = R_{J2000}^{ITRF} \left[\begin{pmatrix} X_{GPS} \\ Y_{GPS} \\ Z_{GPS} \end{pmatrix}_{J2000} + R_{Star}^{J2000} R_{Body}^{Star} \begin{pmatrix} Lx \\ Ly \\ Lz \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} (\rho + \Delta\rho) \sin\theta \cos\alpha \\ (\rho + \Delta\rho) \sin\theta \sin\alpha \\ -(\rho + \Delta\rho) \cos\theta \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} Dx \\ Dy \\ Dz \end{pmatrix} \right] + \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix}$$

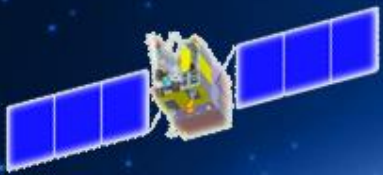
•唐新明, 李国元. 卫星激光测高严密几何模型构建及精度初步验证[J]. 测绘学报, 2016, 45(10): 1182-1191.





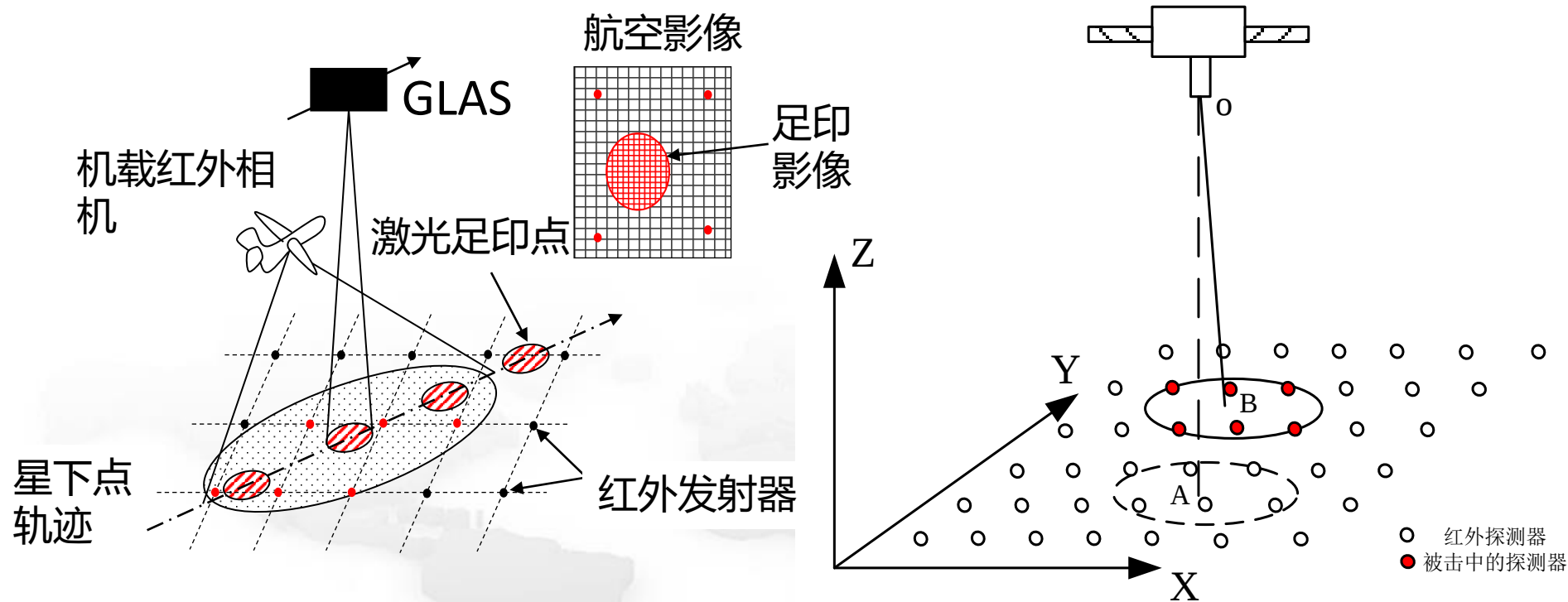
激光测高卫星数据处理技术

	资源三号02星			GLAS的指标
	随机误差	系统误差	引起的测高误差	
激光器测距误差	68cm	/	68cm	10cm
轨道径向误差	5cm	/	5cm	5cm
安装偏心量误差	1cm	/	1cm	1cm
安装偏置角误差	1"	/	平面约2.5m; 高程约4.1cm	/
姿态/激光指向角误差	0.6"	精密定姿后, 无控5"	平面约14m; 高程约23.7cm	7.5cm
大气折射	大气参数测量 误差	最大2.35m, 基本可消除	3°以内, 平面偏移 3cm/°; 高程: 2cm	2cm
潮汐影响	1cm	最大40cm, 可消除	1cm	1cm
时间同步误差	20us	/	<1cm	<1cm
地形起伏	假定坡度为1°的平坦地区, 与姿态/指向误差共同作用		4.1cm/"/°	5cm/"/°
中误差			平面: 14.2m 高程: 0.849m	平面: 4.5m 高程: 0.137m



激光测高卫星数据处理技术

➤ 在轨几何检校



提出了卫星激光测高仪 **“两步法”** 在轨几何检校方法

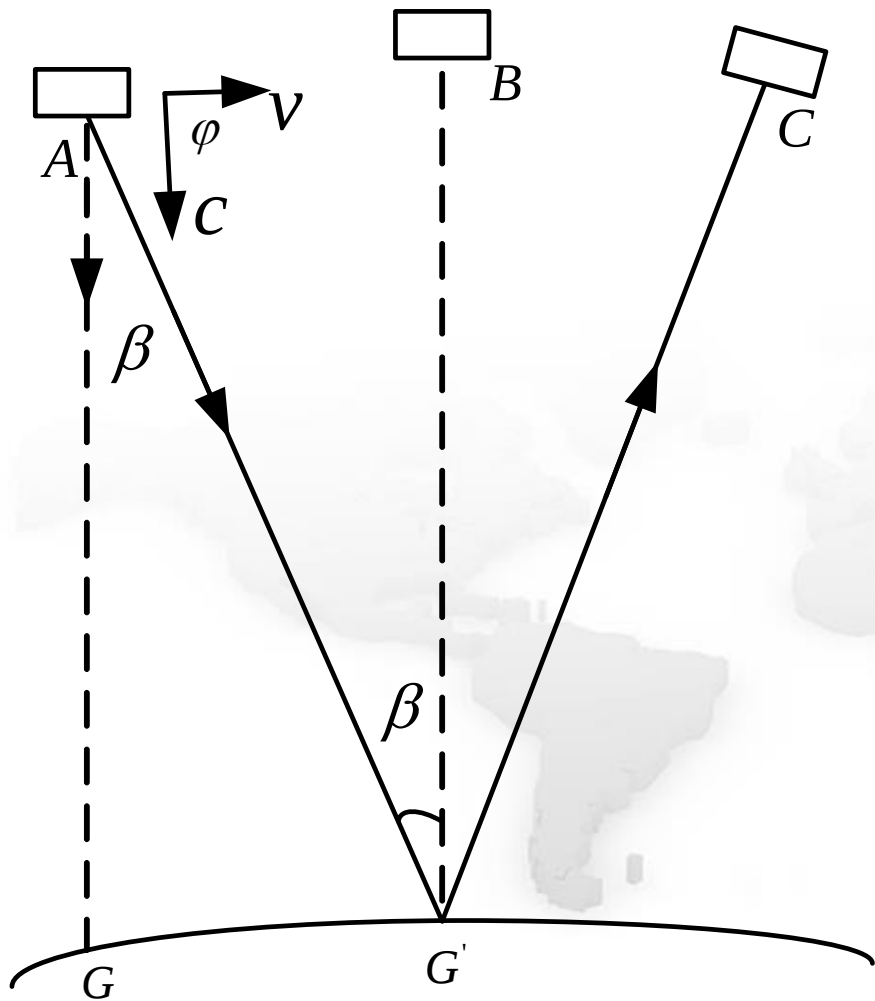
➤ 基于地形匹配的粗检校

➤ 基于地面探测器的精检校



激光测高卫星数据处理技术

➤ 光行差改正

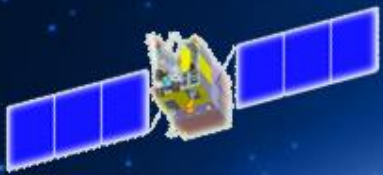


- 激光发射方向和实际传输方向的夹角为

$$\beta = \frac{|\vec{v}|}{c} \sin \varphi$$

$$\beta \approx 5.2 \text{ 角秒}$$

$$GG' \approx 15m$$

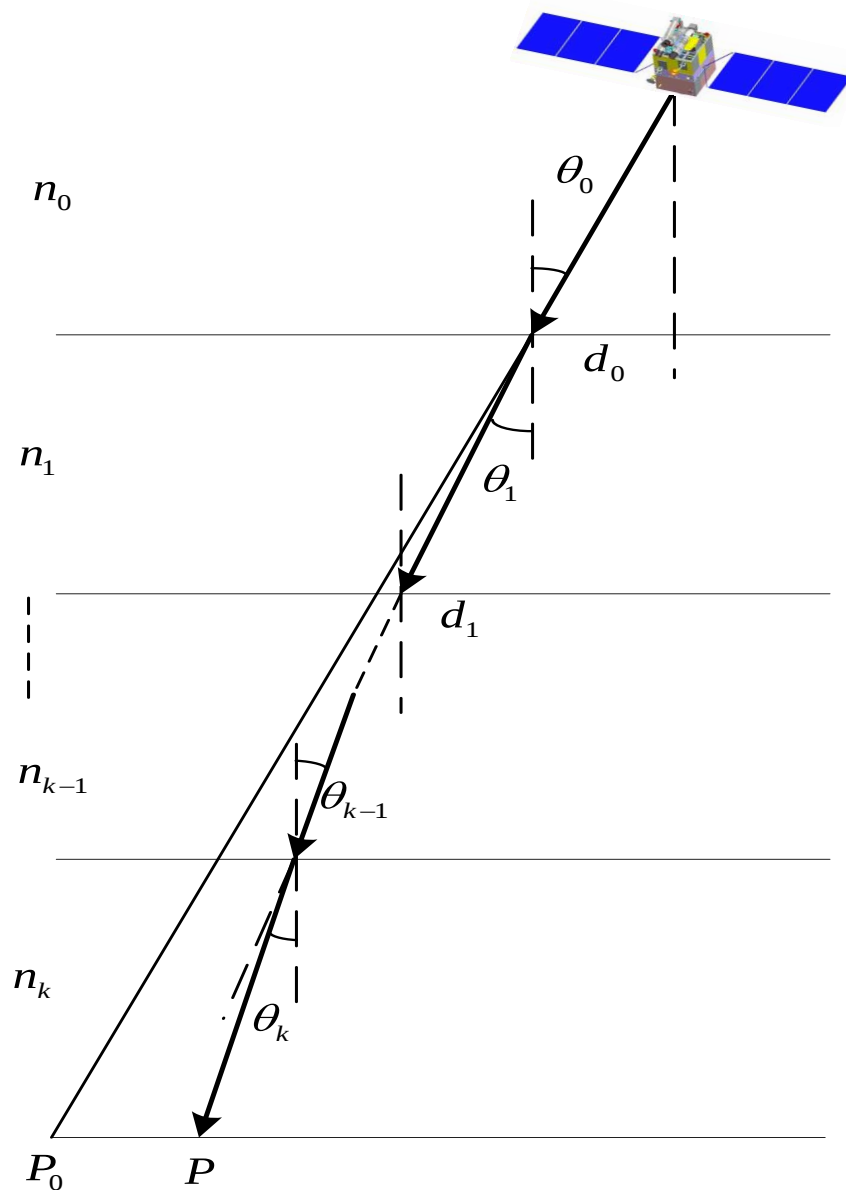


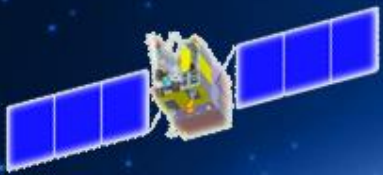
激光测高卫星数据处理技术

➤ 大气折射影响

由于受大气折射的影响，最终的激光回波在地面足印点位置与原始指向直线传播的位置会存在一定偏差。

距离测量值也会因折射率的变化而产生延迟，**最大延迟量可达2.35m**，采用NCEP等全球大气参数，**基于光线跟踪和数值积分算法**对大气延迟误差进行精细改正，折射影响改正精度可优于2cm。

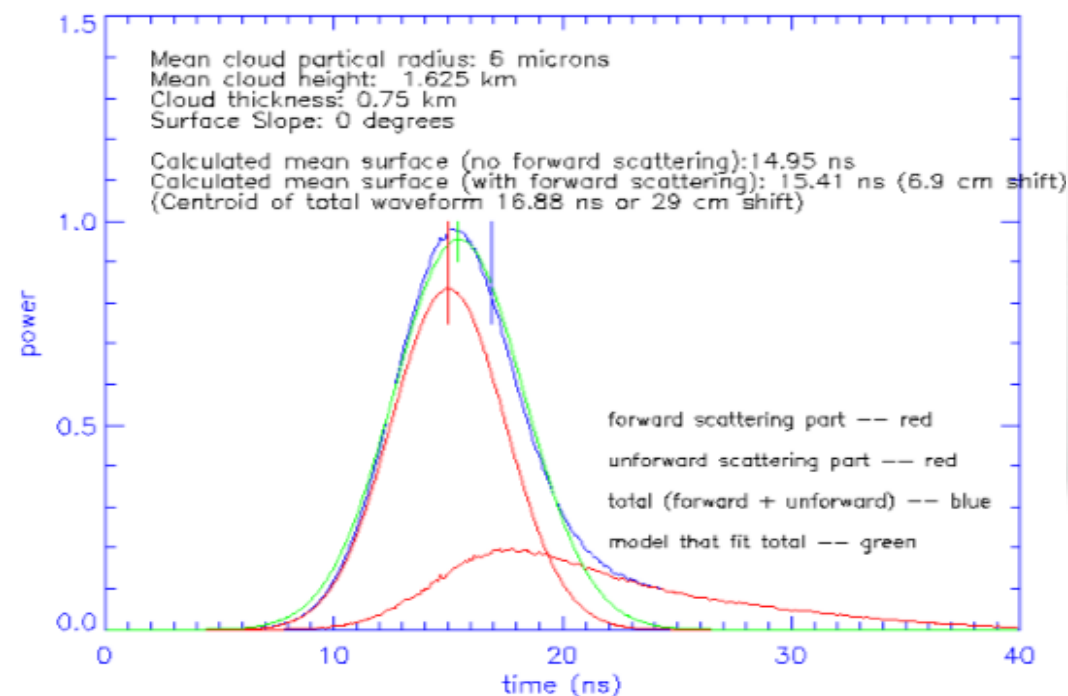




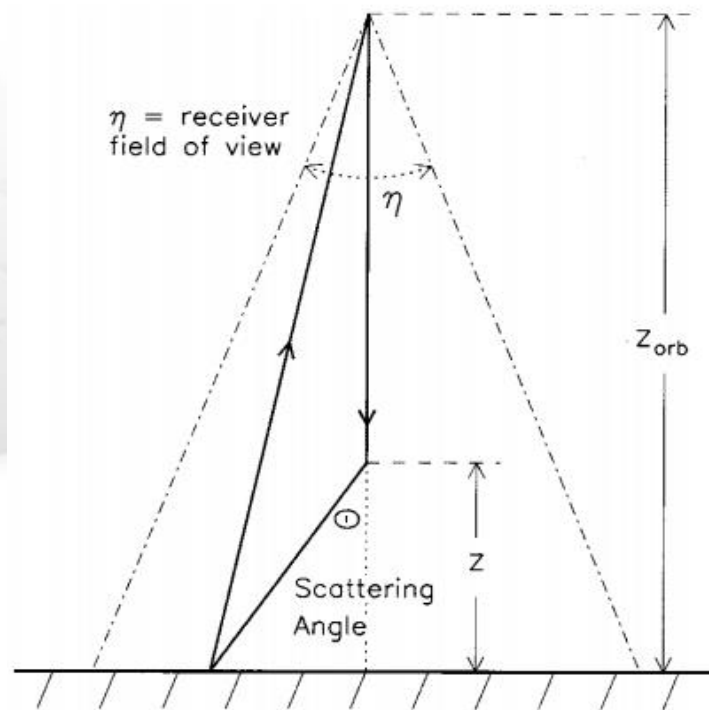
激光测高卫星数据处理技术

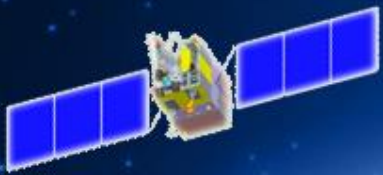
➤ 大气散射影响

大气中的液态水分子、凝华而成的冰晶粒子以及两者的混合物，对卫星激光测高的质量有较大影响，这主要是由于激光脉冲受到云多次散射、吸收影响而被拉伸，导致脉冲发生延时。主要考虑**大气前向散射**



大气前向散射造成的波形拖尾

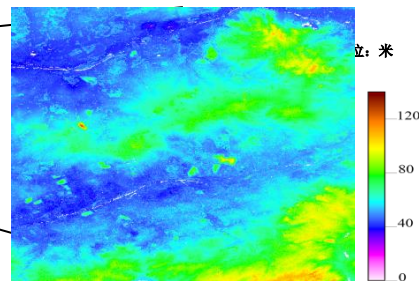
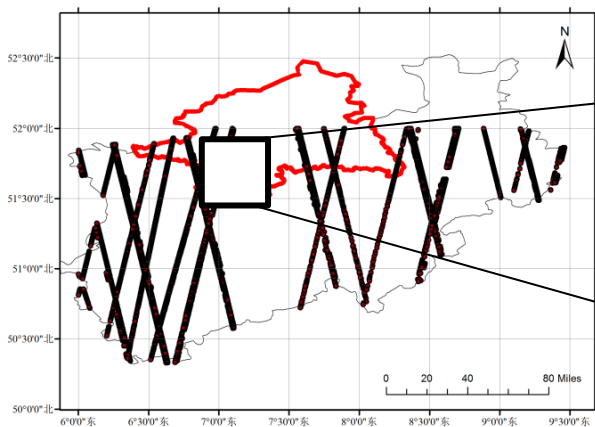




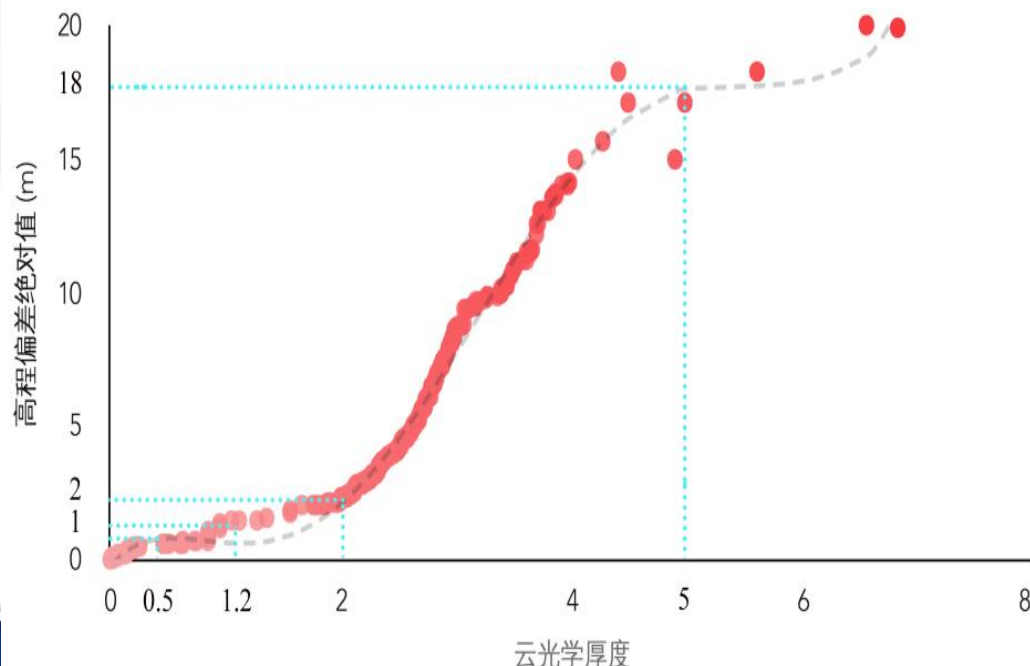
激光测高卫星数据处理技术

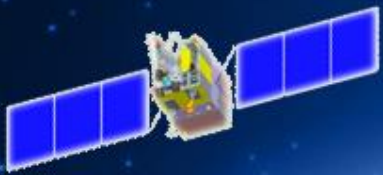
➤ 大气散射改正

大气散射引起的高程偏差基本按**指数函数**关系进行增加，统计某试验区的数据，结果表明：当云光学厚度在0~0.5时，高程偏差为0~0.6m；当云光学厚度在0.5~1.2时，高程偏差接近为0.6m；当云光学厚度在1.2~2时，高程偏差为0.6~2m；当云光学厚度在2~5之间时，高程偏差为2~18m；当云光学厚度在5~10之间时，高程偏差为18~20m。以指数函数建模然后进行散射改正，初步结果表明可以**优于5cm**。后续要针对大气散射影响的**识别与改正**做进一步精细化研究。



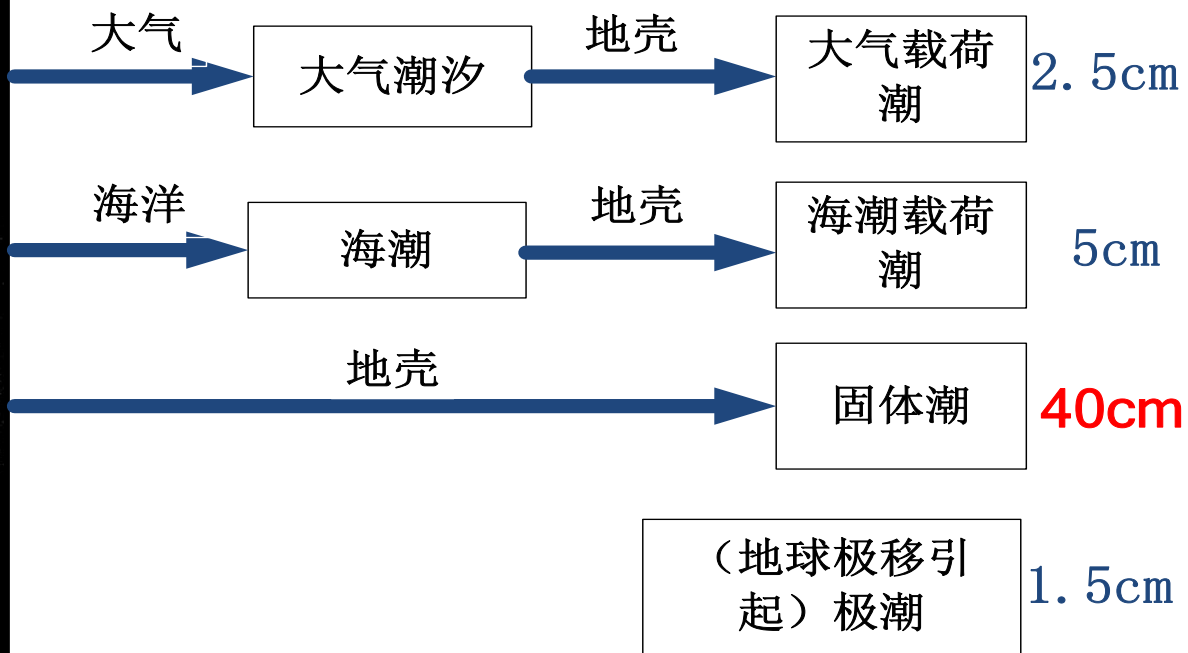
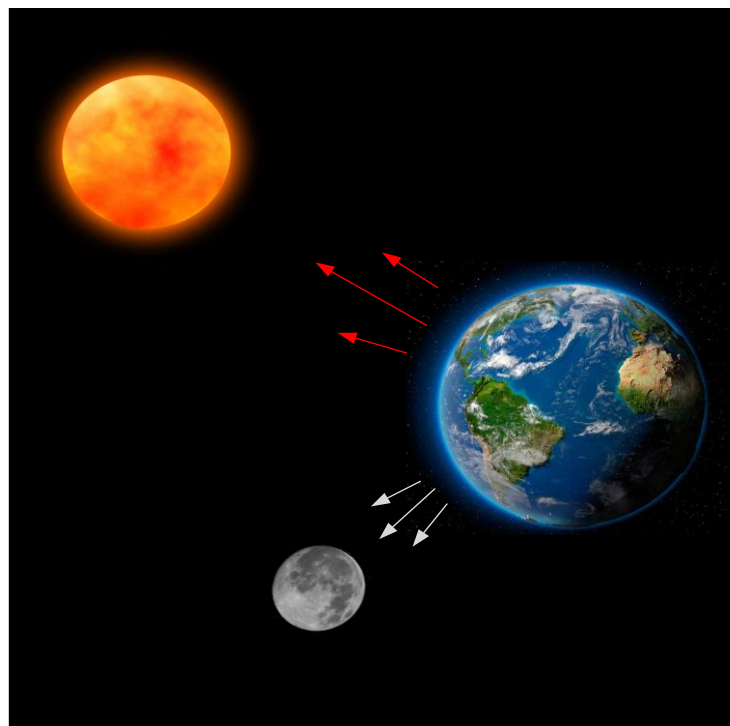
云光学厚度与高程偏差绝对值之间的关系





激光测高卫星数据处理技术

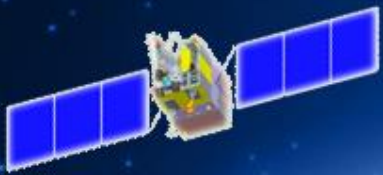
➤ 潮汐改正



潮汐直接和间接的引起地壳形变，即固体潮、海潮、极潮、大气载荷潮及海潮载荷潮，其中固体潮引起的测站点径向位移较大，**最高可达 $\pm 40\text{cm}$** 。

采用相关潮汐改正模型，如IERS2010潮汐模型，改正误差可**优于 1.0cm** 。





激光测高卫星数据处理技术

➤ 潮汐改正

- **海潮**主要是海水在月球和太阳引潮力的作用下,全球海面产生的周期性涨落运动,在海洋范围必须改正。目前主要通过各类海洋潮汐模型进行改正,现有模型包括全球海潮模型FES系列、GOT系列、DTU系列、EOT系列、TPXO系列等,被测高数据广泛采用的是FES系列和GOT系列。
- **海洋负荷潮** (海洋潮汐负荷)是由于海洋潮汐的海水质量变化而引起的固体地球形变,在全球范围内都需要改正,但靠近海洋区域较大,远离海洋区域较小,海洋负荷潮可以通过海洋潮汐模型进行计算。
- **长周期海洋平衡潮和非平衡潮汐**,是由于常用海洋潮汐模型仅主要考虑较大影响的半日、全日或 $1/4$ 、 $1/6$ 等较短周期的分潮,而实际中潮汐还包括很多长周期的分量,故一般会采用几个较大的主要长周期分潮来进行改正。
- **极潮**是因地球旋转轴 (或极轴) 的变化,导致地球离心力位的变化,从而导致地球表面会受到类似潮汐现象的形变,通过极移的变化进行计算

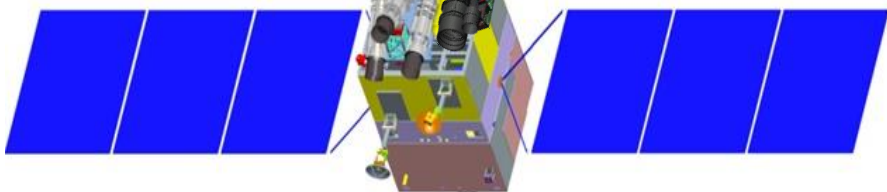


资源三号02星/03星激光测高

三线阵立体
相机

多光谱
相机

02星试验性
激光测高仪



参数	实验室标称值
激光脉冲宽度	6.5 ns
重复频率	2 Hz
功耗	45 W
质量	40 kg
激光器单脉冲 能量	175mJ
有效口径	210 mm
有效作用距离	480~520 km
激光足印大小	>50m
轨道高度	505.984 km
中心波长	1064nm
瞬时发射视场	0.1mrad
瞬时接收视场	0.5mrad
探测器带宽	200MHz
测高通道数量	1
测距精度	1m（坡度<2度）



资源三号02星激光测高试验

项目组完成了02星激光测高仪数据处理，并开展了在海面、湖面、夜间升轨等多种情况的质量分析，积累了一定的国产激光测高数据处理经验，也为硬件方在激光测高仪工作模式、场景，受云影响、水面能否反射等问题提供了一定参考。

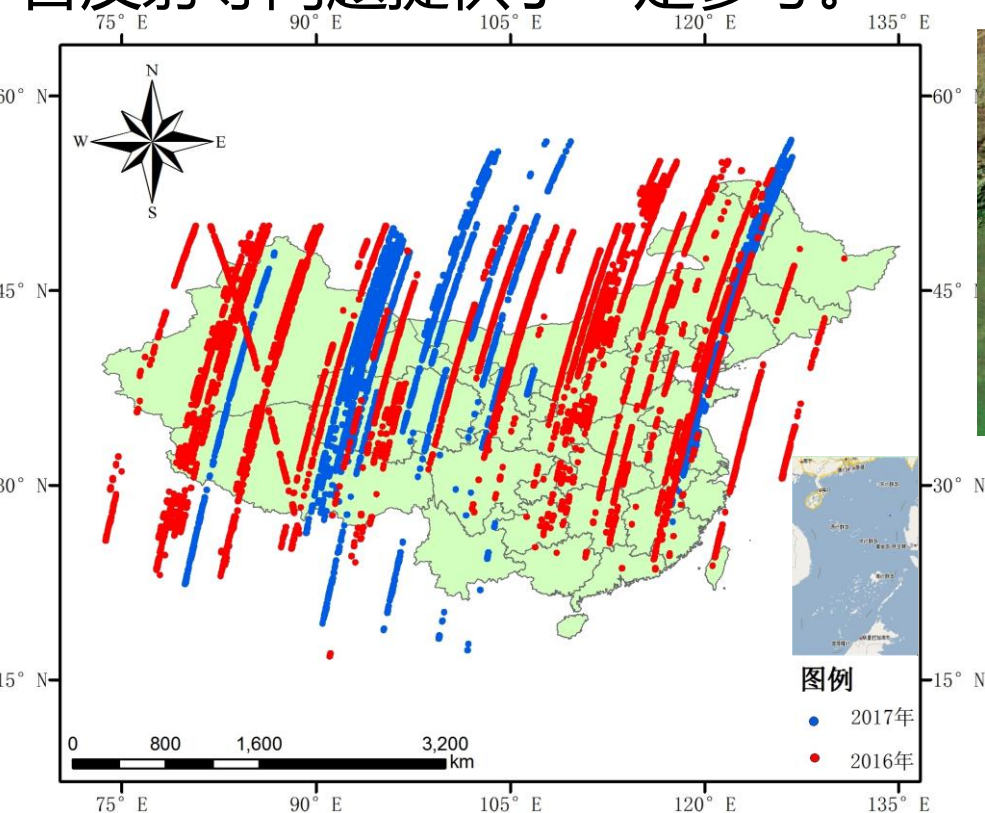


图1. 资源三号02星激光测高数据分布示意图

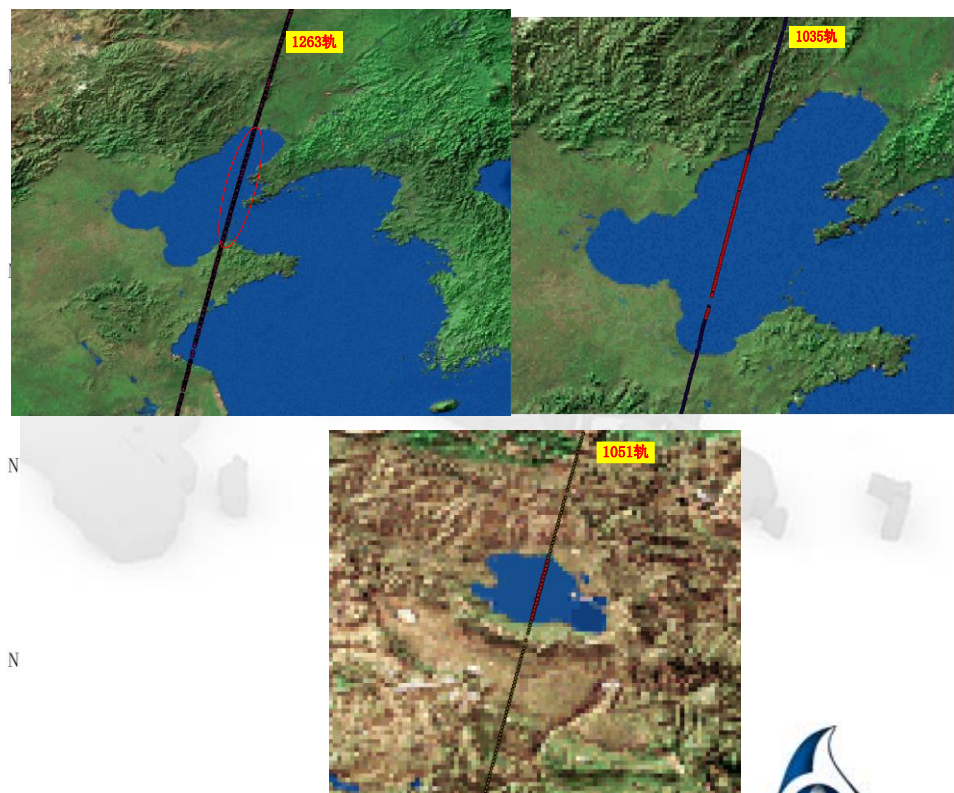
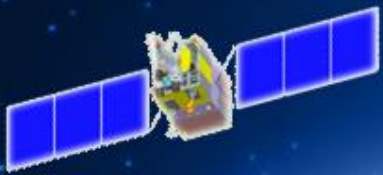
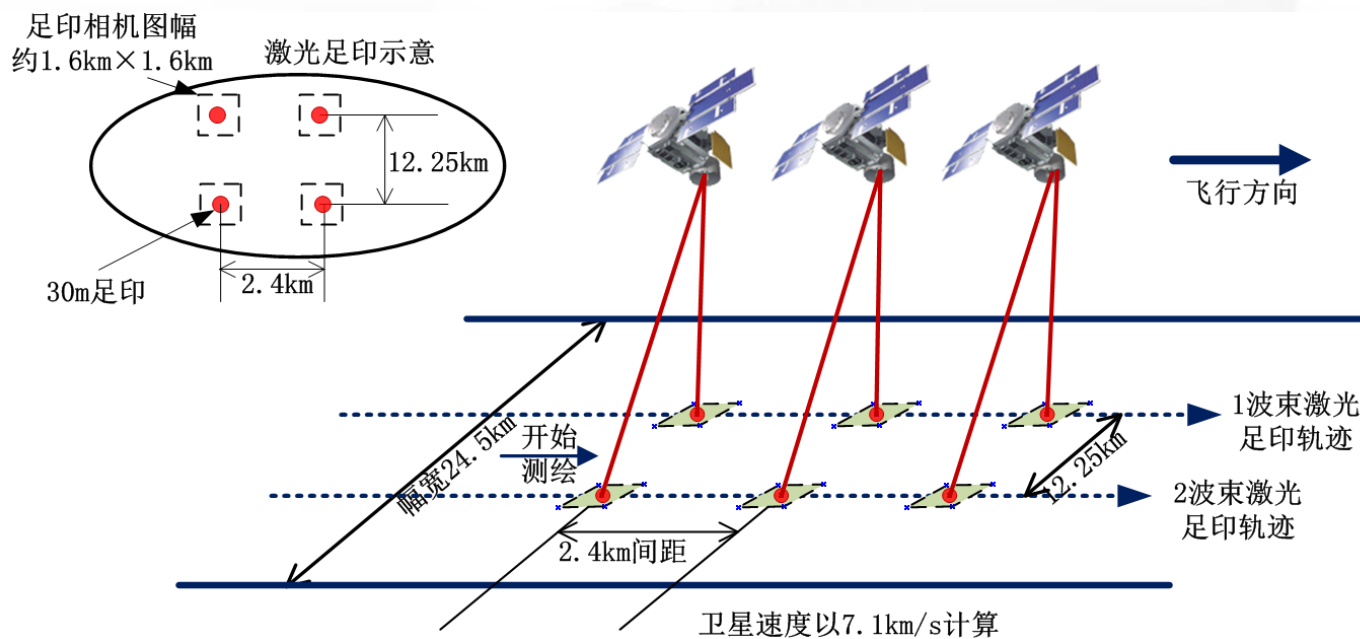


图2. 水面区域资源三号02星激光测高数据



高分七号卫星激光测高

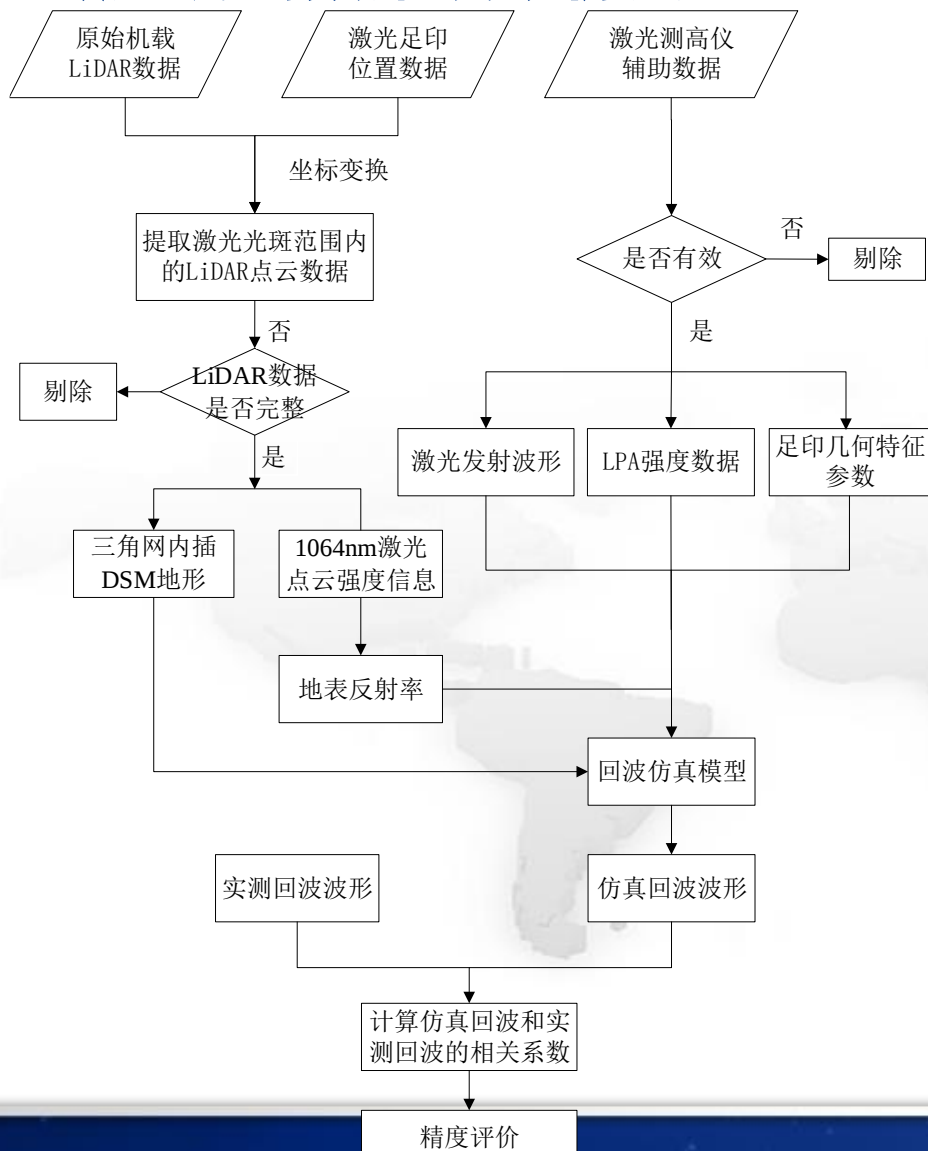
- 高分辨率国土测绘卫星——高分七号（GF-7），是我国首颗民用**亚米级高分辨率光学传输型立体测绘**卫星。
- 高分七号卫星主要用于我国**1:1万立体测图**生产及更大比例尺基础地理信息产品的更新；
- 卫星于**2019年11月3日成功**发射，卫星配置了**双线阵立体测绘相机**和**2波束激光测高仪**。





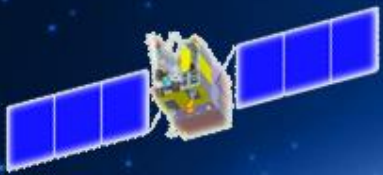
高分七号卫星激光测高

• 激光测高数据模拟仿真



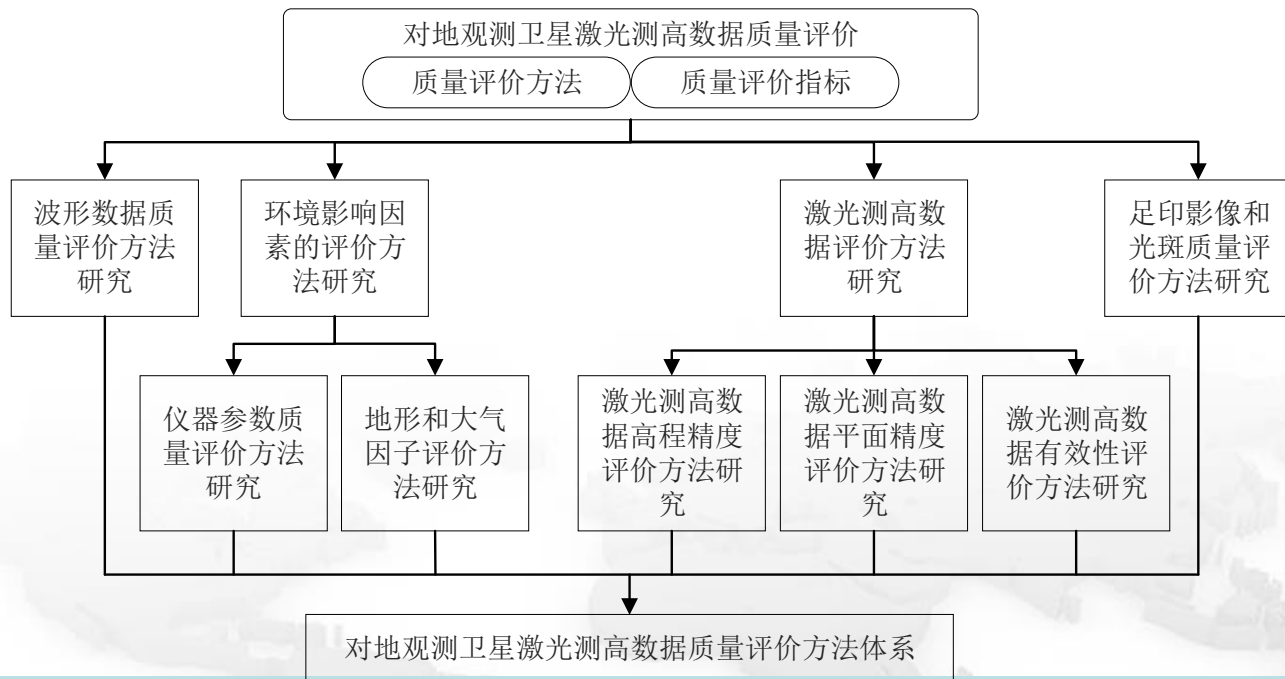
提出了一种精细化的激光回波模拟方法，综合考虑激光足印光强影像、实际发射波形、地表反射率、大气参数（清洁条件、非清洁条件）大气透过率等因素，对激光回波的全波形进行精细化的模拟仿真。





高分七号卫星激光测高

• 激光测高数据质量控制

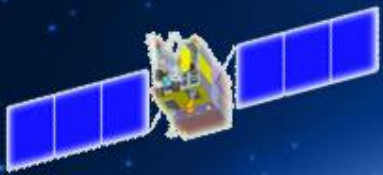


基于仪器因子： 温度、振动、能量饱和、指向偏差 (激光指向精度)

基于足印影像因子： 灰度级分布、清晰度、噪声、云量、无效像元比值、质心位置变化、扁率、方位角、面积、最大灰度值等；

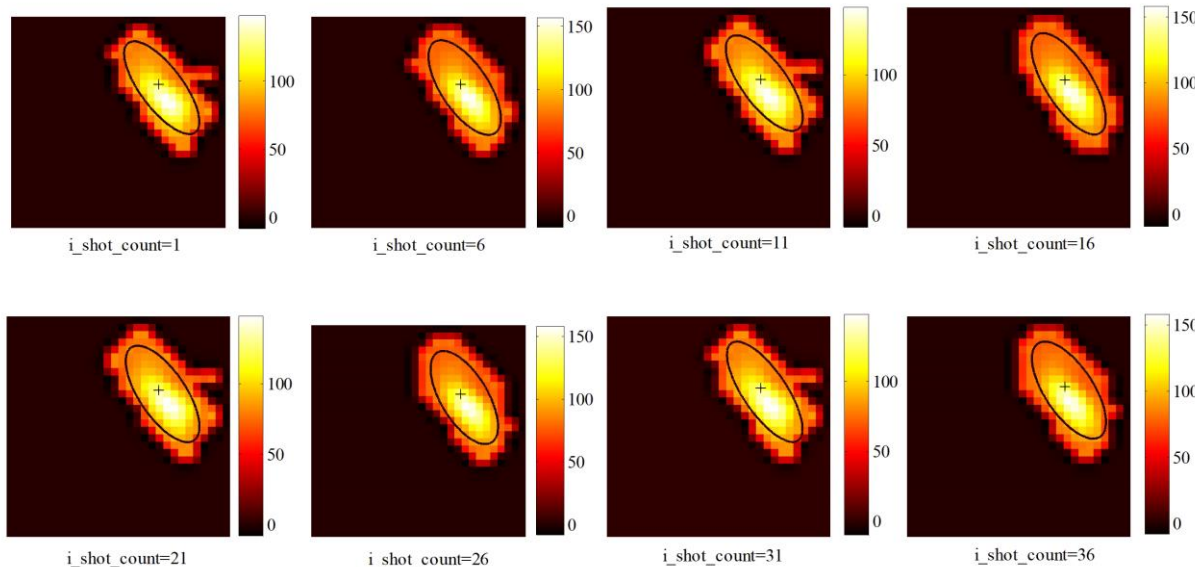
基于大气因子： AOD值、大气散射增益等

基于地表地形因子： 地表粗糙度、地表坡度、坡向、高差等

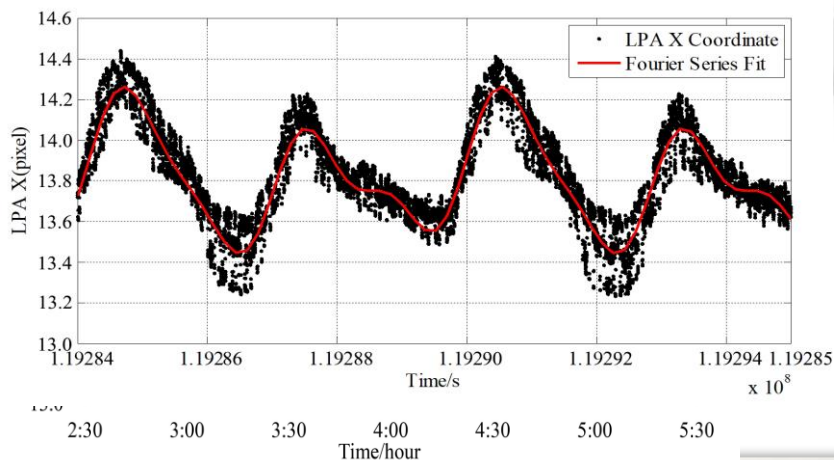
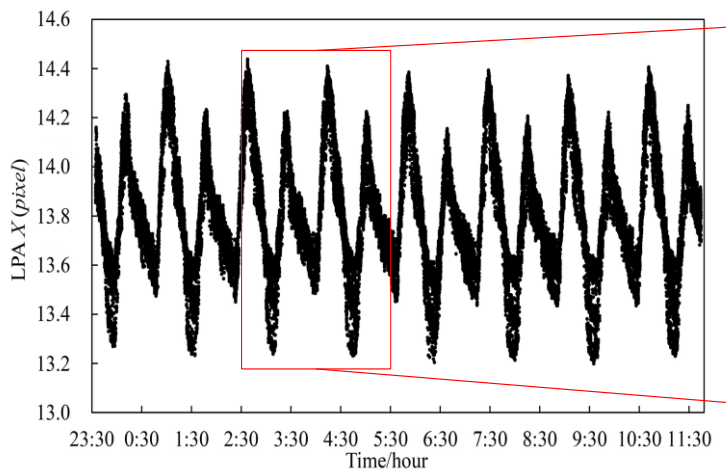


高分七号卫星激光测高

• 激光测高数据质量控制



长时间序列激光
质心坐标的位置
变化监测与质量
控制



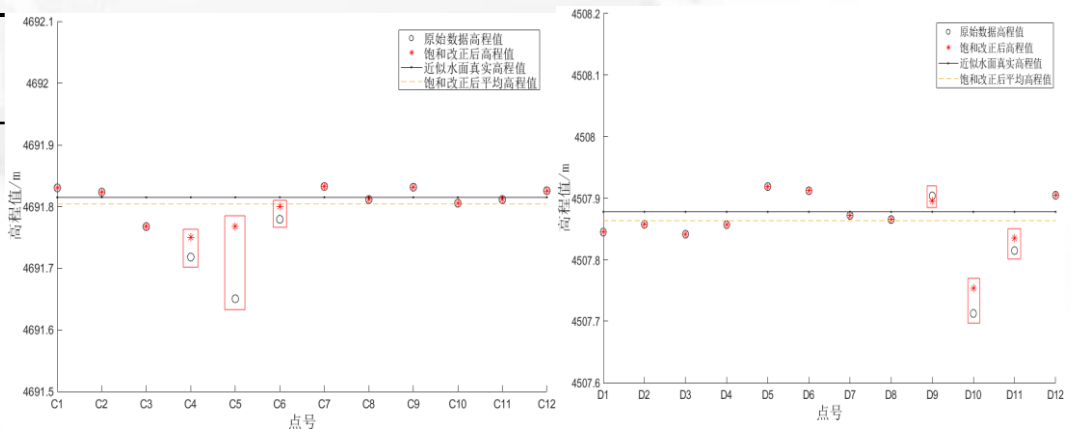
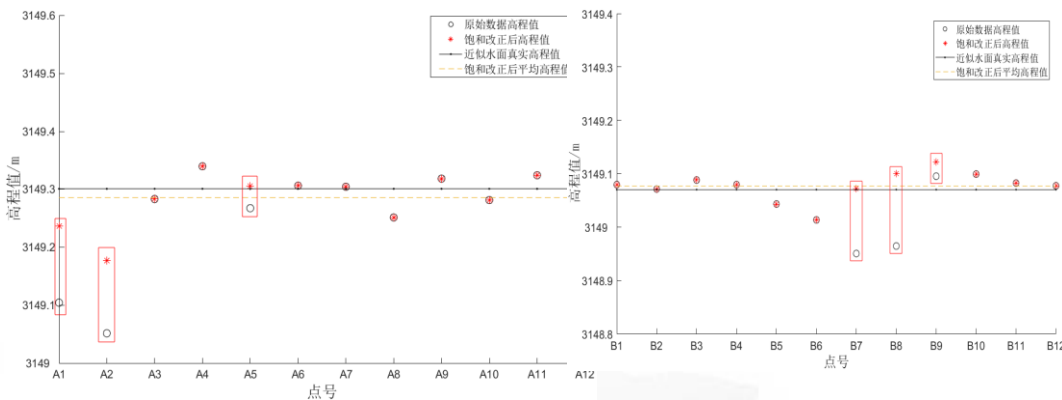


高分七号卫星激光测高

激光测高数据质量控制

对饱和改正结果分析，本文算法饱和改正最大值为0.136m，饱和改正最小值为-0.008m，改正后的误差的绝对值均值为0.045m，相较于GLAS改正量的误差均值0.119m有了很大提高，改正后数据更加稳定且趋于近似真值，且未发生改正量过大的情况，改正后整体精度可达0.05m。

点号	GLAS改正量/m	本文改正量/m	GLAS改正后高程与真值差值/m	本文改正后高程与真值差值/m
A1	0.416	0.132	0.219	-0.065
A2	0.275	0.126	0.025	-0.083
A5	0.222	0.038	0.188	0.004
B7	0.301	0.123	0.181	0.002
B8	0.385	0.136	0.279	0.03
B9	0.167	0.027	0.132	0.052
C4	0.027	0.032	-0.07	-0.065
C5	0.093	0.117	-0.072	-0.048
C6	0.013	0.021	-0.023	-0.015
D9	0	-0.008	0.026	0.018
D10	0.012	0.041	-0.153	-0.124
D11	0.007	0.02	-0.056	-0.043



四组数据改正前后高程对比

本文饱和改正算法能有效识别饱和点并进行改正，初步验证误差优于0.05m。

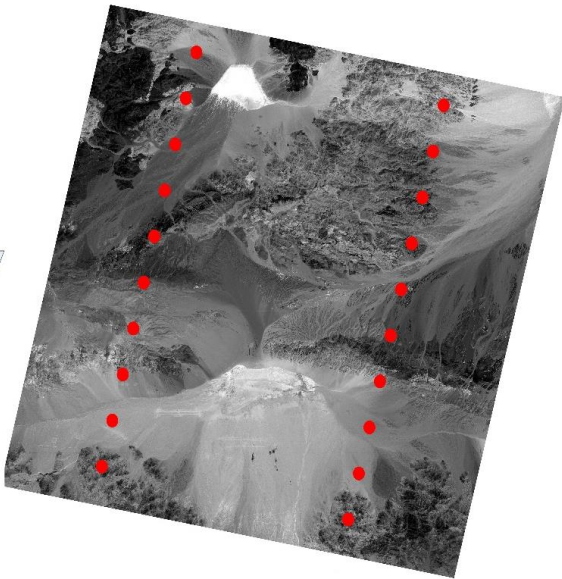
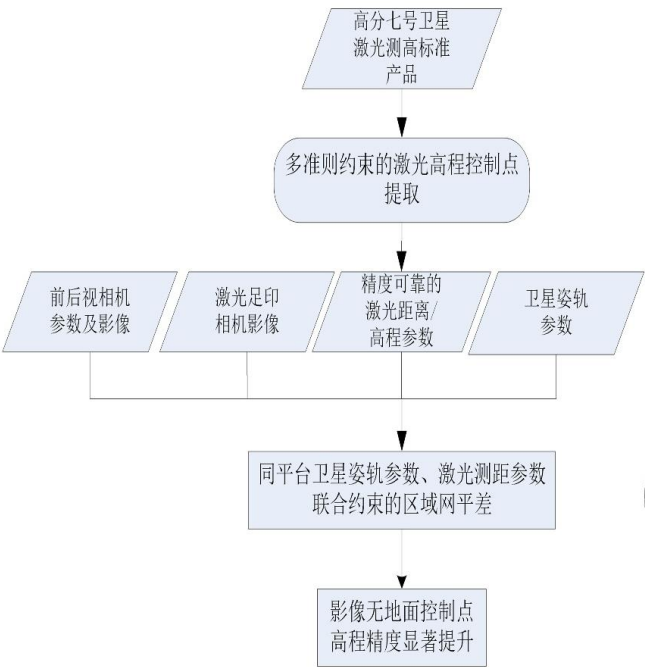




高分

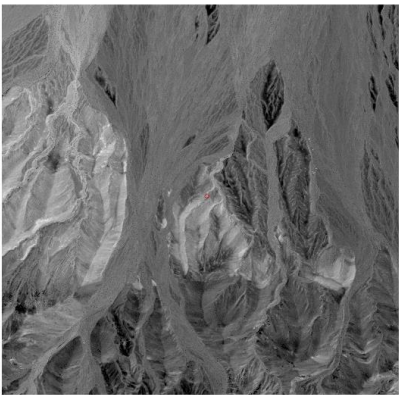
高分七号卫星激光与立体影像复合处理

经度	纬度	x	y
255246	111.92	43.06343	507058.1
255250	111.9134	43.0426	506527.2
255254	111.9069	43.02176	505997
255258	111.9004	43.00093	505466.2
438238	112.2892	43.00802	507268.6
438242	112.2826	42.98717	506738.2
438246	112.2761	42.96633	506207.8
438250	112.2696	42.94549	505677.2
438254	112.263	42.92464	505146.9
438258	112.2565	42.9038	504616
621306	112.6133	42.8765	507898.6
621310	112.6068	42.85564	507369.2
621314	112.6003	42.83478	506839.4
621322	112.5873	42.79307	505779.8
621330	112.5743	42.75136	504719.6
621334	112.5678	42.7305	504189.6
621338	112.5613	42.70964	503659.4
621342	112.5548	42.68878	503129
621346	112.5484	42.66793	502598.5
8804370	112.9278	42.70364	500910.6
8804394	112.8889	42.57844	497721.8
8804398	112.8825	42.55757	497190.2
8804406	112.8695	42.51584	496126.4
8804410	112.8631	42.49497	495594.4

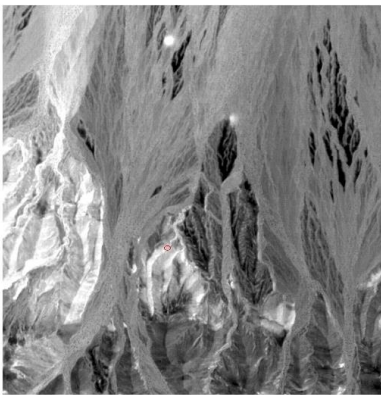


激光与立体影像复合处理流程图

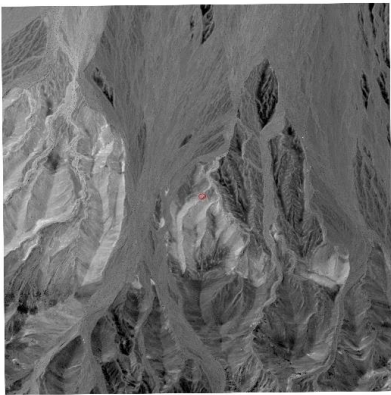
激光点位分布图



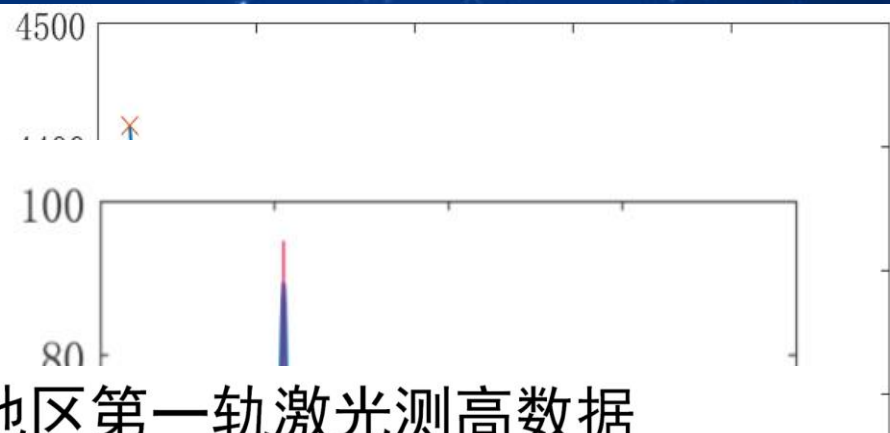
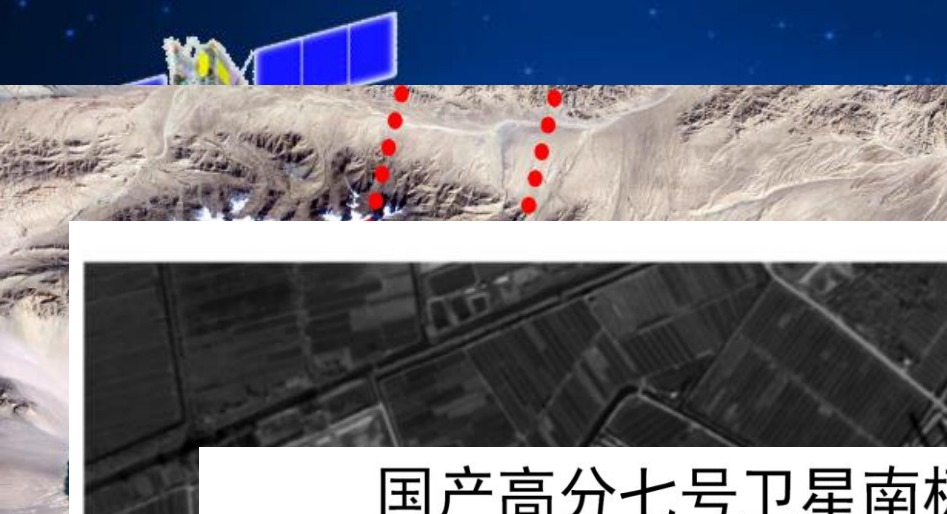
前视影像 (0. 8m)



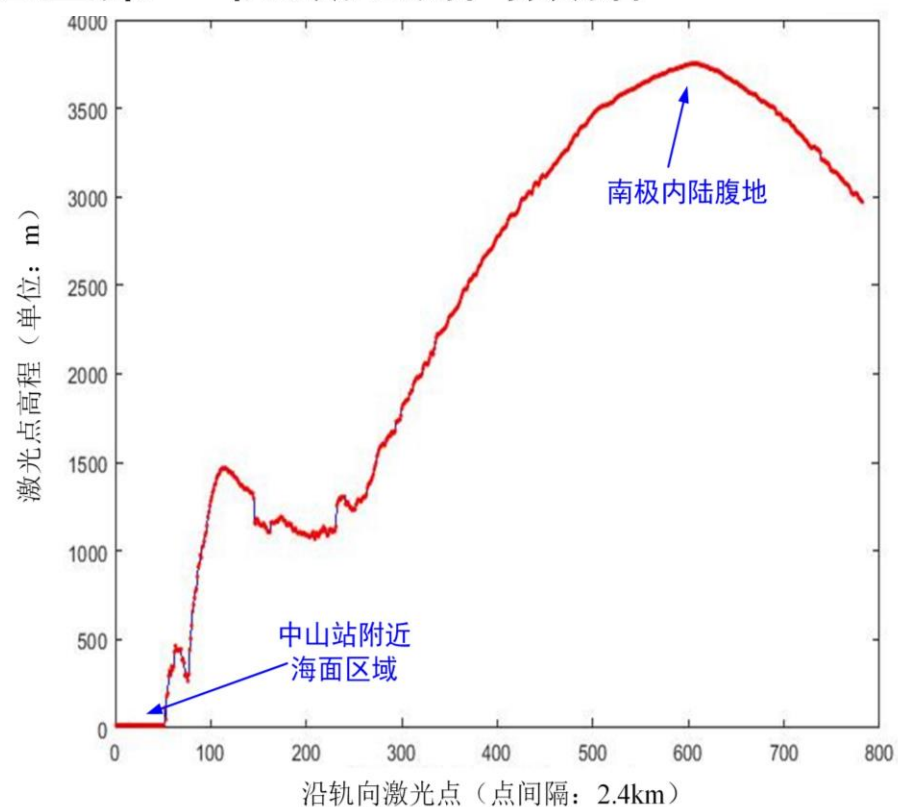
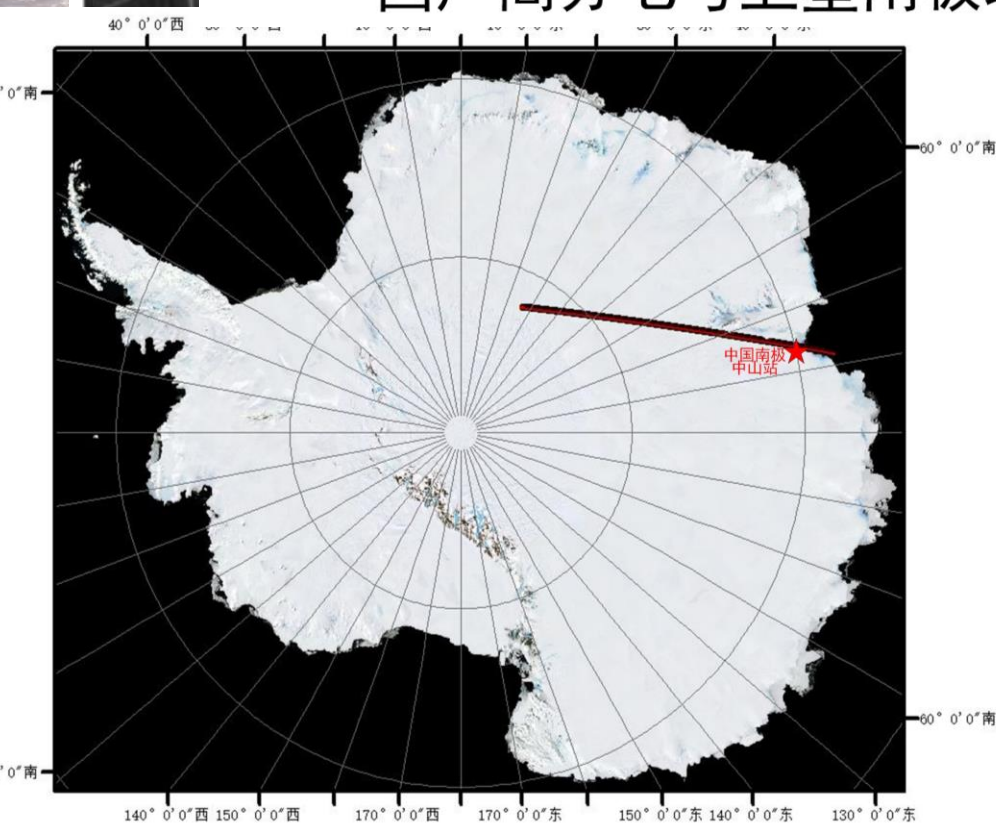
足印影像 (3. 2m)



后视影像 (0. 65m)



国产高分七号卫星南极地区第一轨激光测高数据



拍摄时间: 2019年11月21日

自然资源部国土卫星遥感应用中心

拍摄时间: 2019年11月21日

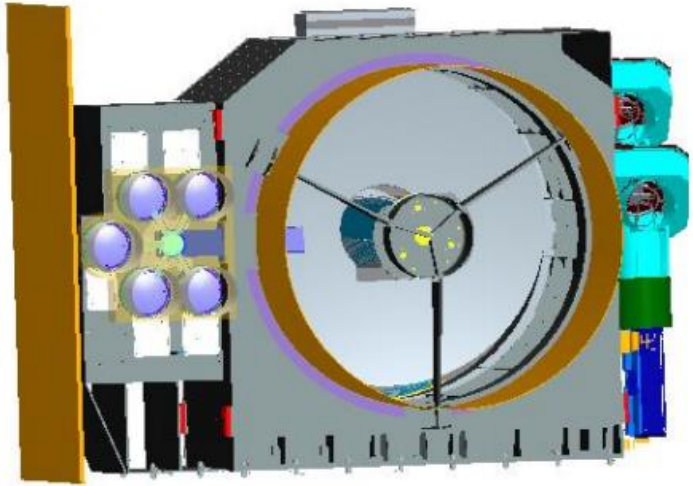
自然资源部国土卫星遥感应用中心



新型激光测高卫星技术

陆地生态系统碳监测卫星

于2017年1月正式立项，计划2020年发射，主要用于陆地生态系统碳汇估算、全球高程控制点获取、大气气溶胶监测以及农业、环保等其他有关行业的应用等。

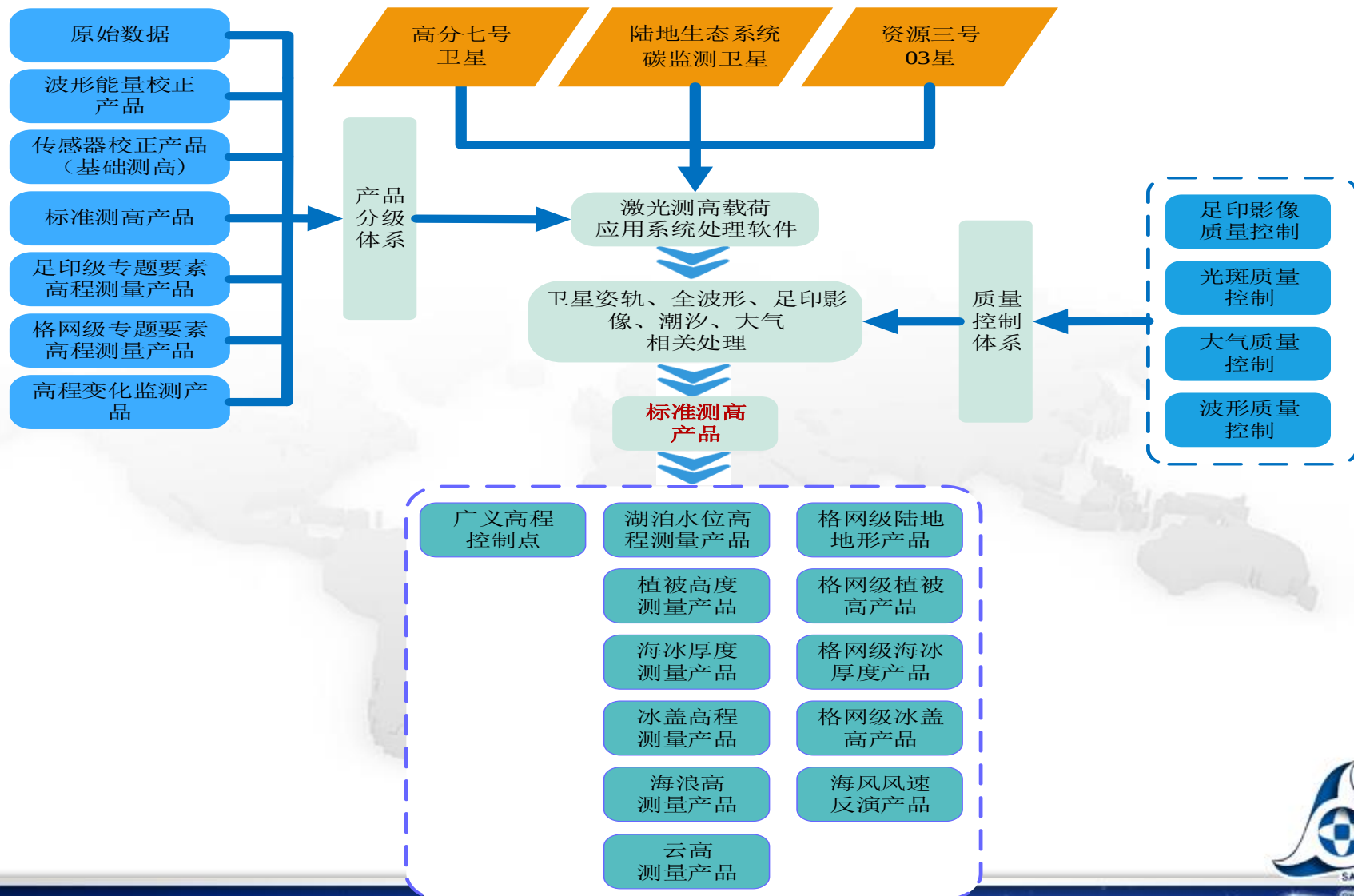


	指标	设计值
碳汇激光测量系统	波长	1064nm
	波束数	5
	脉冲宽度	8ns
	发射能量	75mJ
	重频率	35Hz
	测距精度	0.3m
气溶胶激光测量系统	激光发散角	60urad
	波长	532nm
	波束数	1
	脉冲宽度	20ns
	发射能量	110mJ
	重频率	20Hz
	大气垂直分辨率	30m
	激光发散角	110urad



新型激光测高卫星产品体系

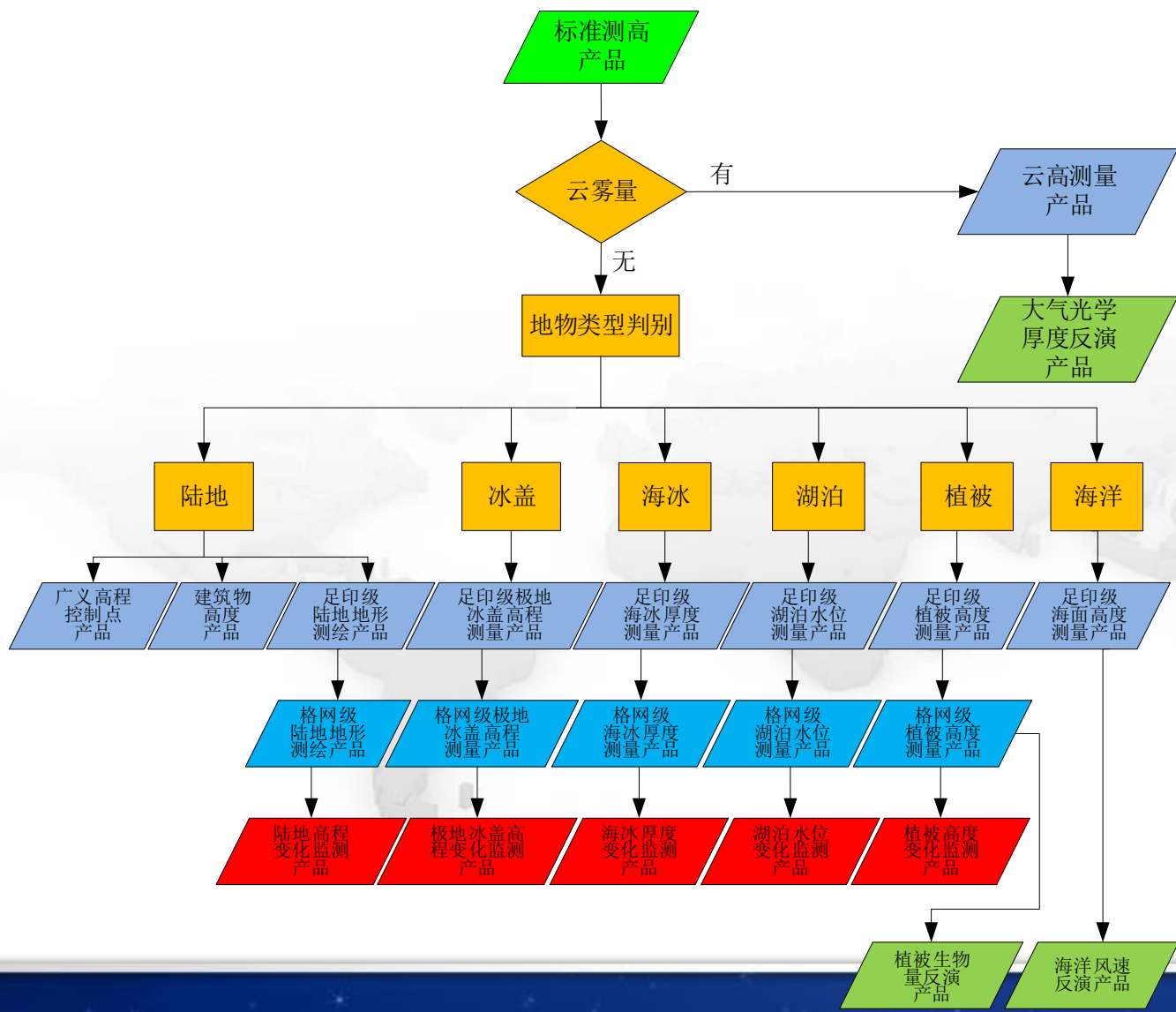
• 国产激光测高卫星产品体系构建

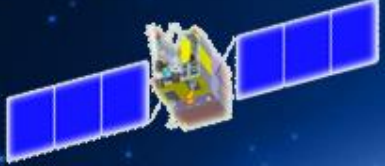




新型激光测高卫星产品体系

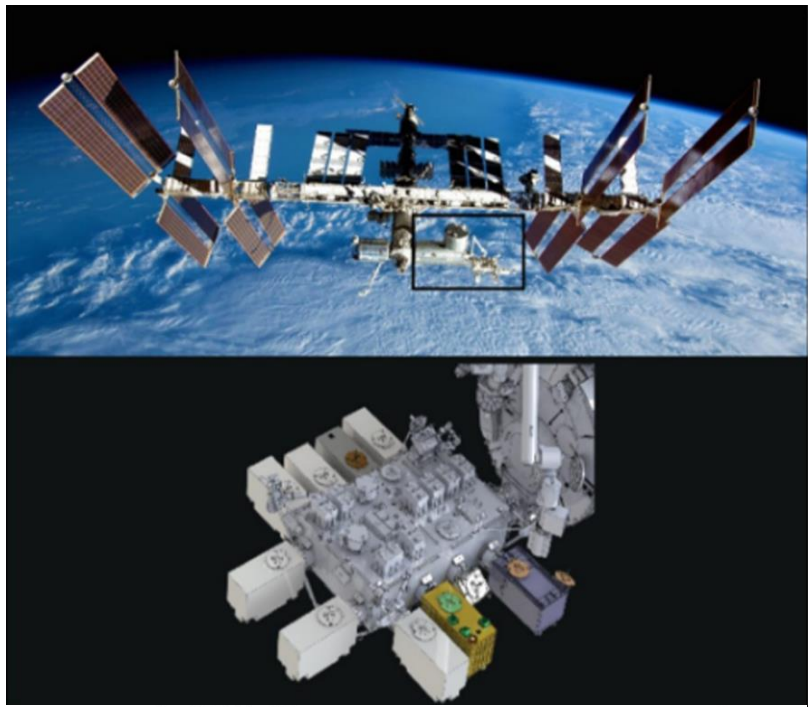
• 国产激光测高卫星数据产品体系构建



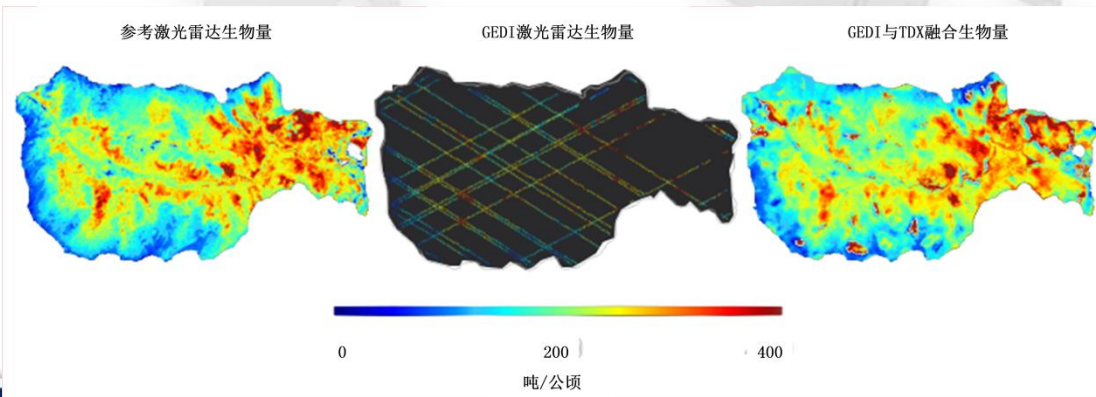
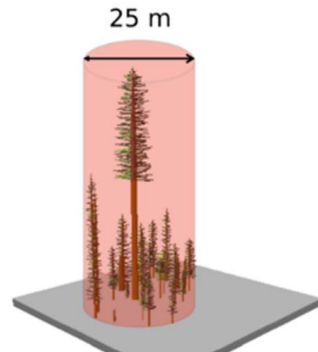
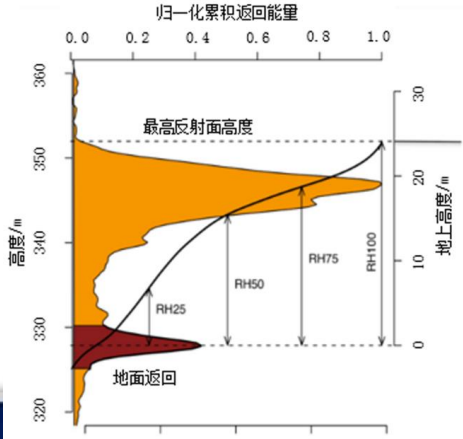
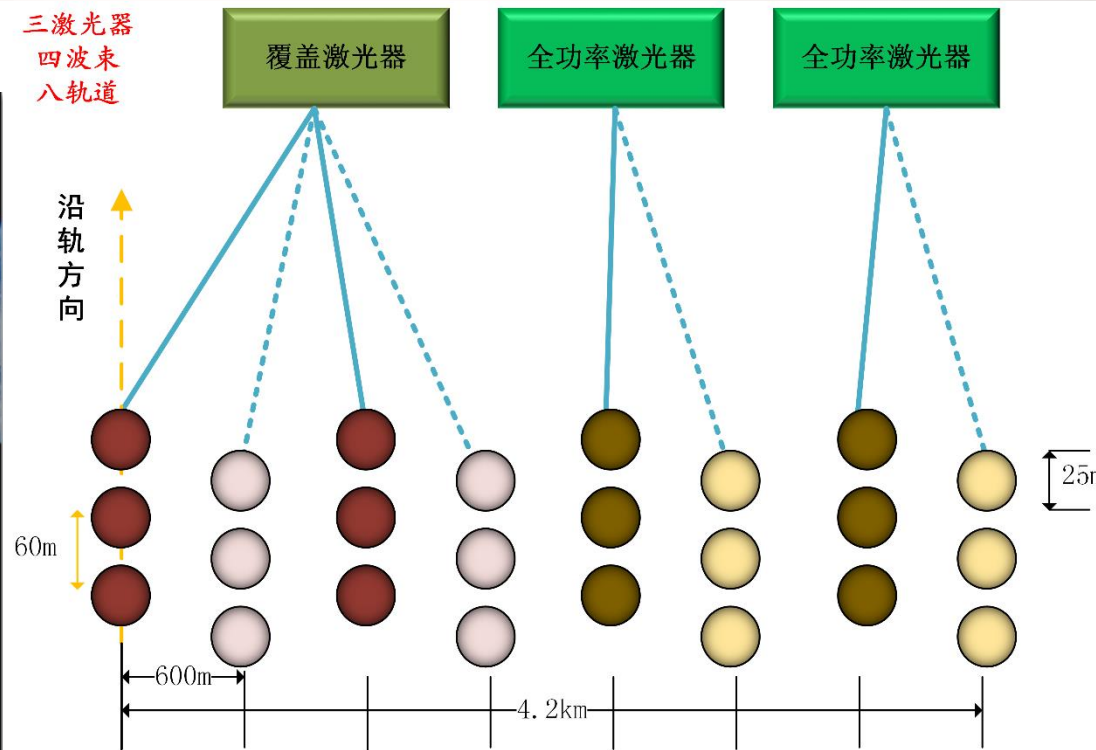


新型激光测高卫星技术

多波束全波形激光测高



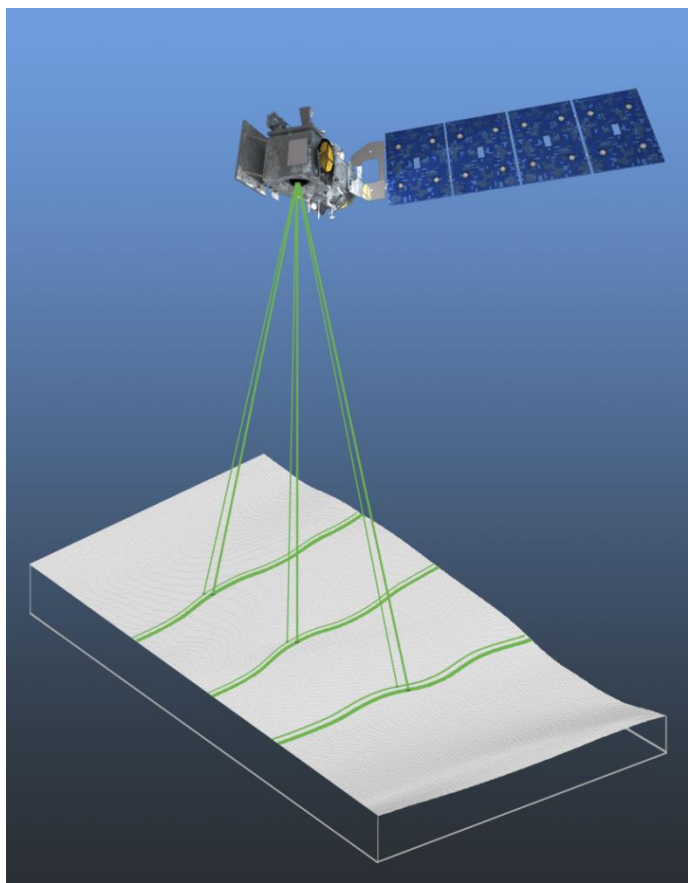
三激光器
四波束
八轨道





新型激光测高卫星技术

多波束单光子激光测高卫星



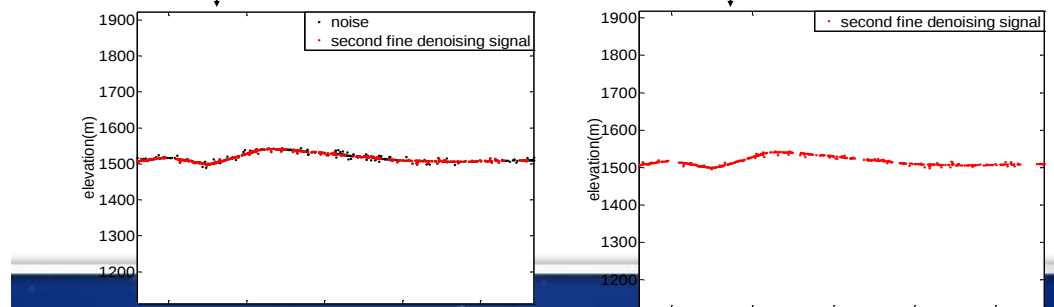
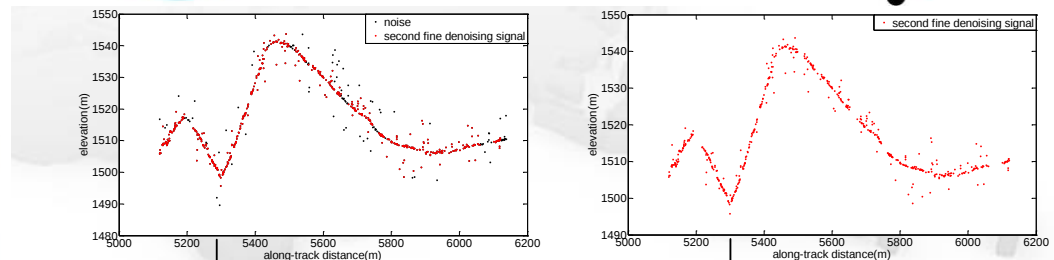
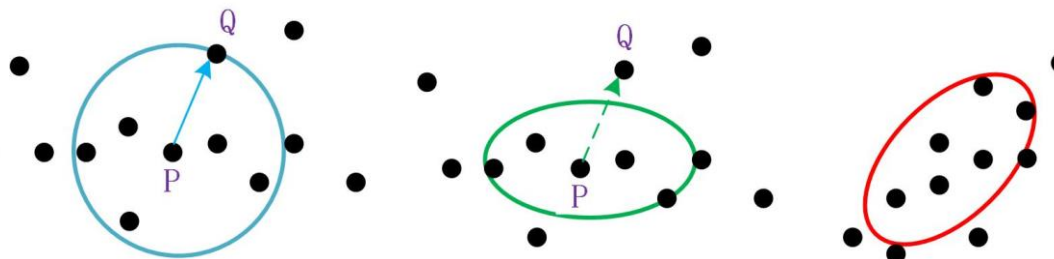
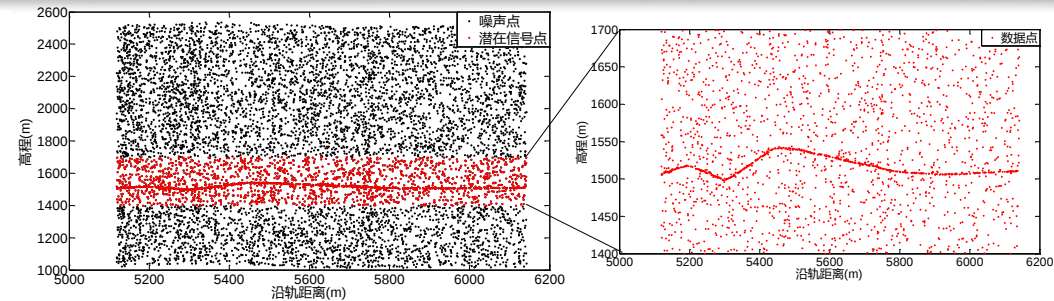
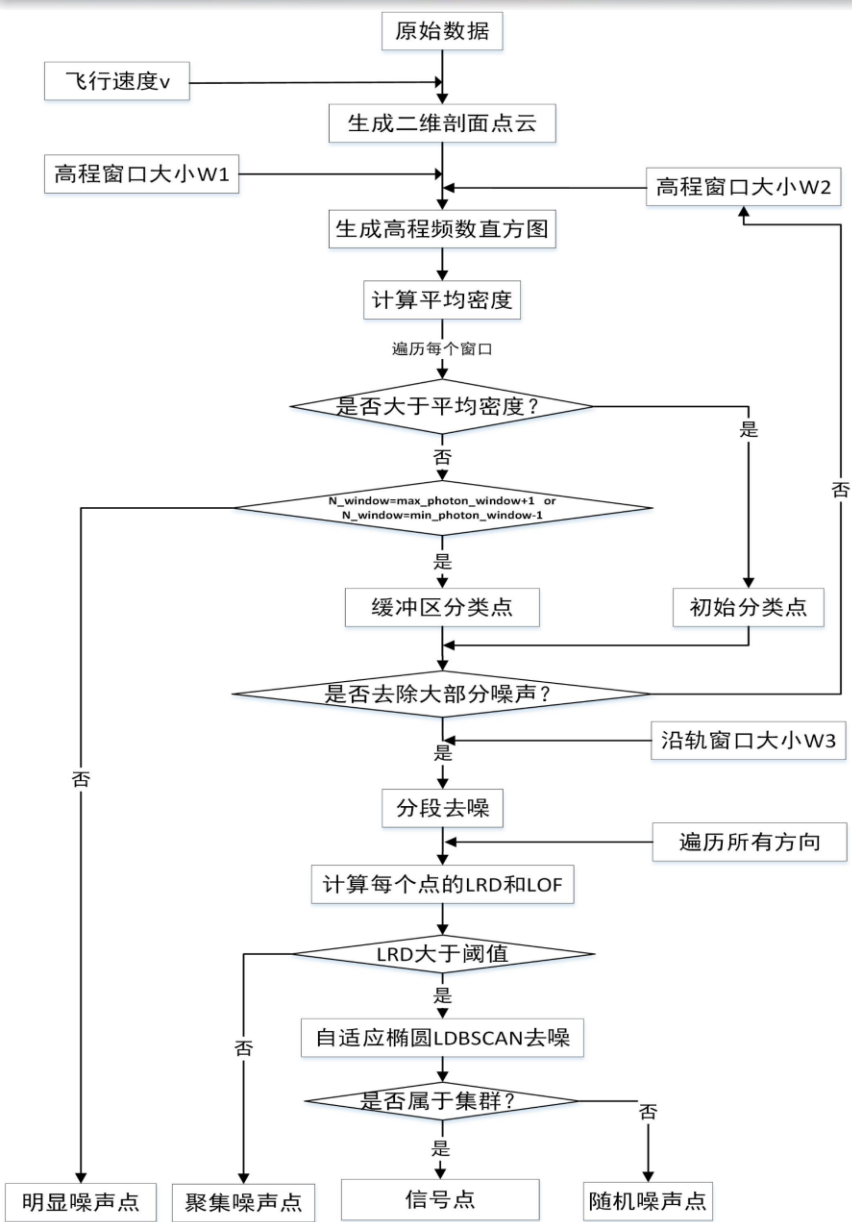
高重频、短脉宽、微脉冲、
多波束、小足印

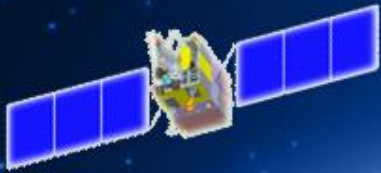
项目	参数	项目	参数
发射时间	2018年9月	激光重频	10kHz
周期	91天	脉冲能量	250-900mJ
			可调
预计寿命	5年	脉冲宽度	1ns
轨道类型	近极地重复轨道	轨道高度	600km
激光波长	532nm	轨道倾角	94°
光斑直径	13.5m	高程精度	10cm
光斑间隔	0.7m	设计质量	<10kg





新型激光测高卫星技术

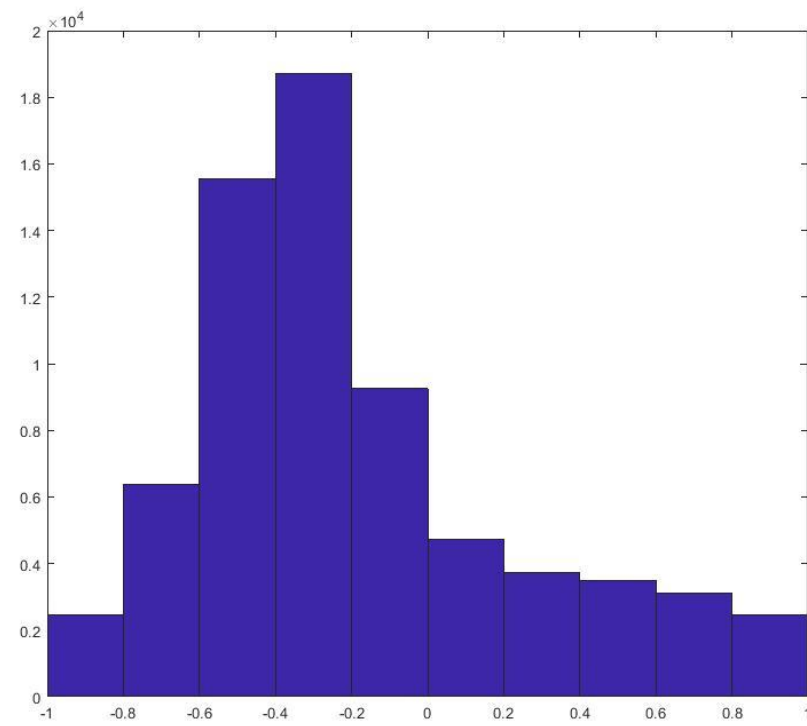
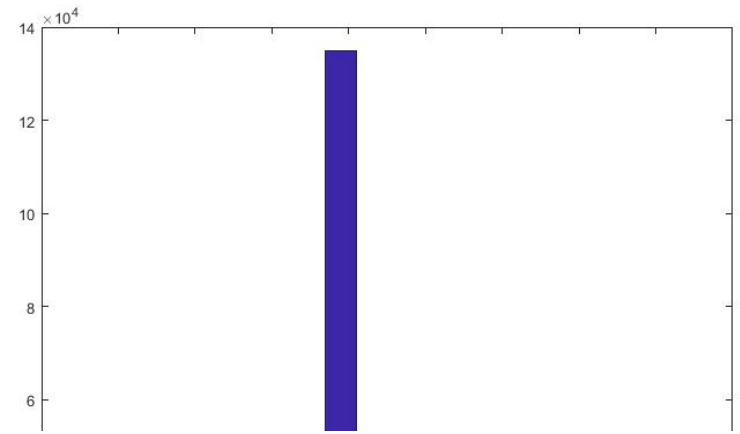




新型激光测高卫星技术

高程误差 (m)	强波束 点数	弱波束 点数	强波束占 比	弱波束 占比
dh<1	69861	17390	15.646%	5.245%
1<dh<5	34212	12415	7.662%	3.744%
5< dh<10	16388	8925	3.67%	2.692%
10<dh<20	20230	15053	4.531%	4.54%
20<dh<50	45408	39224	10.169%	11.829%
50<dh<100	66815	59772	14.964%	18.026%
100<dh<200	74392	69141	16.660%	20.852%
200<dh<500	119212	109659	26.698%	33.072%

强波束信号占比是弱波束**3倍**左右；
设定500m距离门， ATL03的信号占比约为**20%**；
1m误差范围的点， 优于0.3m的点占比约为**35%**； 优于0.2m的点占比约为**20%**；





新型激光测高卫星技术

第 36 卷 2019 年第 3 期

上海航天
AEROSPACE SHANGHAI

15

陆海激光测高卫星

参数

工作模式

工作波长

轨道与工作环境

像元数量

测绘带宽

系统口径

足印尺寸及重频率

平面定位精度

高程测量精度

测距精度

海洋探测深度

测姿定轨精度

足印影像

陆海激光卫星高程测量的思考

唐新明^{1,2,3}, 李国元^{1,2,3}

(1. 自然资源部 国土卫星遥感应用中心, 北京 100048; 2. 中国科学院空间主动光电技术重点实验室, 上海 200083; 3. 山东师范大学 地理与环境学院, 山东 济南 250014)

摘要:为满足新形势下陆海激光卫星高程测量的需求, 分析了高精度高程控制点数据获取、森林生物量估算、浅海及海岛礁地形测绘、“三极”区域高程变化监测等方面的需求, 提出了发展多波束激光卫星测高的初步设想, 并就高精度激光指向测量技术、距离门宽度动态适应调整技术等关键技术问题进行了探讨。

关键词:卫星激光测高; 精确指向测量; 高程测量; 陆海测绘; 生物量估算; “三极”区域

中图分类号: P 237

文献标志码: A

DOI: 10.19328/j.cnki.1006-1630.2019.03.002

Thoughts about Land and Sea Satellite Laser Altimetry

TANG Xinming^{1,2,3}, LI Guoyuan^{1,2,3}

(1. Land Satellite Remote Sensing Application Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100048, China; 2. Key Laboratory of Space Active Opto-electronics Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China; 3. College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract: The development of land-sea satellite laser altimetry is an important choice to adapt to the new situation and meet the new needs. The demands in various aspects are analyzed, including the data acquisition of high precision elevation control points, the estimation of forest biomass, the surveying and mapping of shallow water topography and island reef topography, the monitoring of tripolar regional elevation and so on. A preliminary idea of developing a new multi-beam laser altimetry technology is put forward, and the several key technical issues, including highly precise pointing determination, dynamic adjustment of range gate width and so on, are discussed.

Keywords: satellite laser altimetry; precise pointing determination; elevation surveying; land and sea surveying and mapping; biomass estimation; tripolar region

0 引言

激光雷达是一种集激光、全球定位系统和惯性导航系统于一体的主动式观测系统, 用于快速获取地面及地面目标的三维信息, 与成像光谱、合成孔径雷达一起构成对地观测系统信息链, 是

光测高卫星, 并于 2018 年 12 月成功发射了全球生态系统动力学调查(GEDI)激光测高载荷, 搭载了多波束天基激光测高系统^[4]。目前千波束的高精度表面地形激光测量(LIST)卫星仍在论证阶段, 主要用

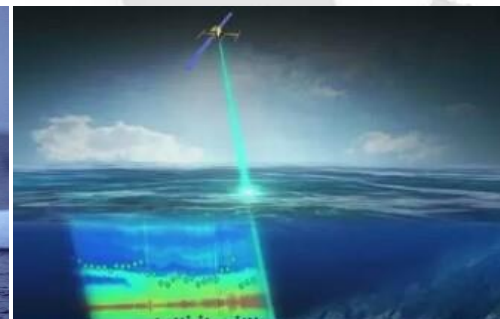
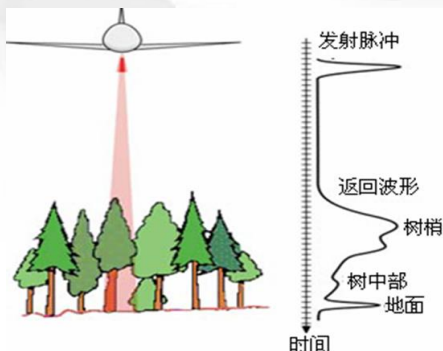
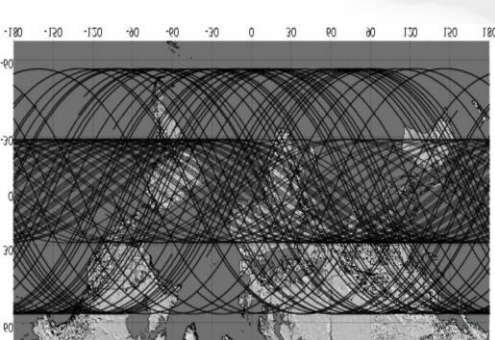
5m

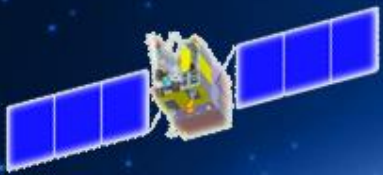


新型激光测高卫星技术

陆海激光测高卫星

满足国家“一带一路”建设及全球地理信息资源开发对1:5000甚至1:2000测图的高精度控制点应用需求；满足应对全球气候变化对林业树高以及三极冰盖高程变化监测的数据需求，实现数据自主化，掌握国际话语权；满足“海洋强国建设”对浅海地形及海洋剖面测量的海洋科学研究应用需求。最终实现我国自然资源卫星高程精度的整体提升，为建立高精度统一的陆海高程基准提供重要支撑。





新型激光测高卫星技术

- **分步走战略**

一、少波束的线性体制高程测量卫星

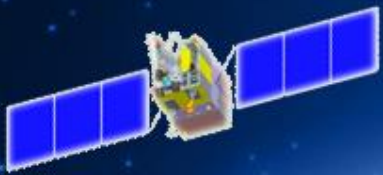
- 高分七号、陆地生态系统碳监测卫星

二、多波束的线性或单光子体制高程测量卫星；

- 类似GEDI或ICESat-2；
- 陆海激光测高卫星（ $>3+20+1$ 模式，5-10年左右）

三、几百波束的激光三维地形测量卫星

至少500波束的阵列状三维地形测量卫星（15-30年）

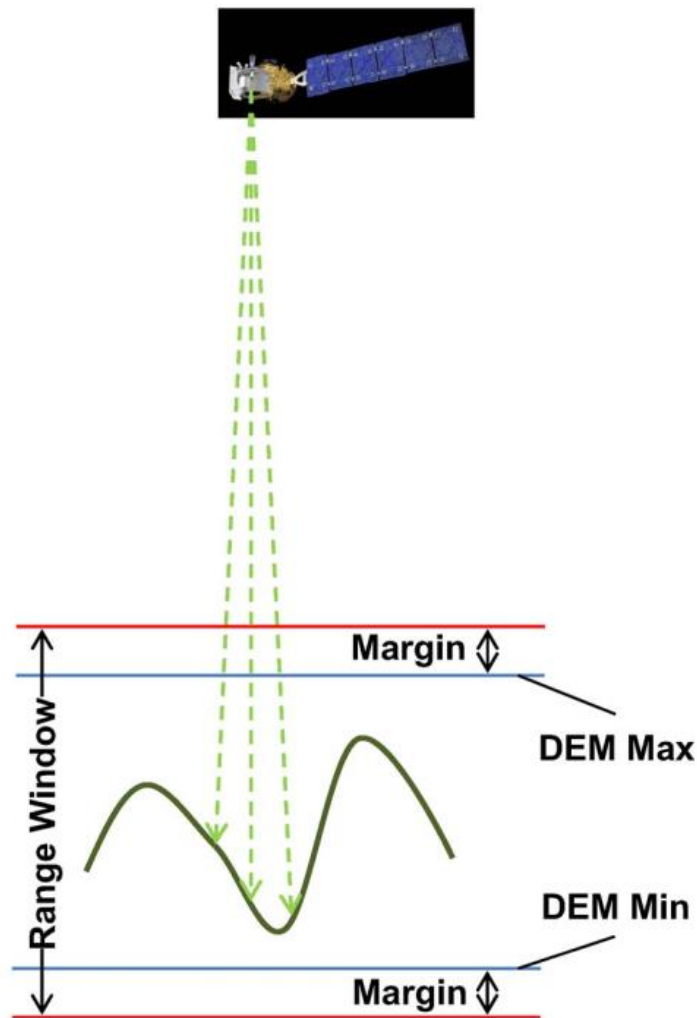


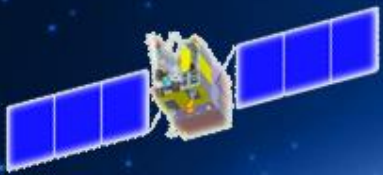
存在的问题及解决途径

距离门宽度动态适应调整技术

距离门宽度与探测概率、探测精度、数据量大小密切相关，合理有效地控制距离门宽度，特别是实现根据地形起伏、地物类别等自适应动态调整距离门宽度对于提高探测概率和测量精度，有效减少数据量和存储传输压力均具有重要意义。ICESat-2采用了根据同一地区的数字地形图(DRM)、数字高程模型(DEM)、地表参考标记(SRM)确定需要测量目标的实际情况，进而调整距离门宽度获取更精准的测量结果。

新型激光雷达需要通过构建多种分辨率组合的地形地物参考库，综合利用全球DEM以及地表覆盖数据，研究基于先验地形的激光测高卫星快速定位及距离门宽度动态调整技术。

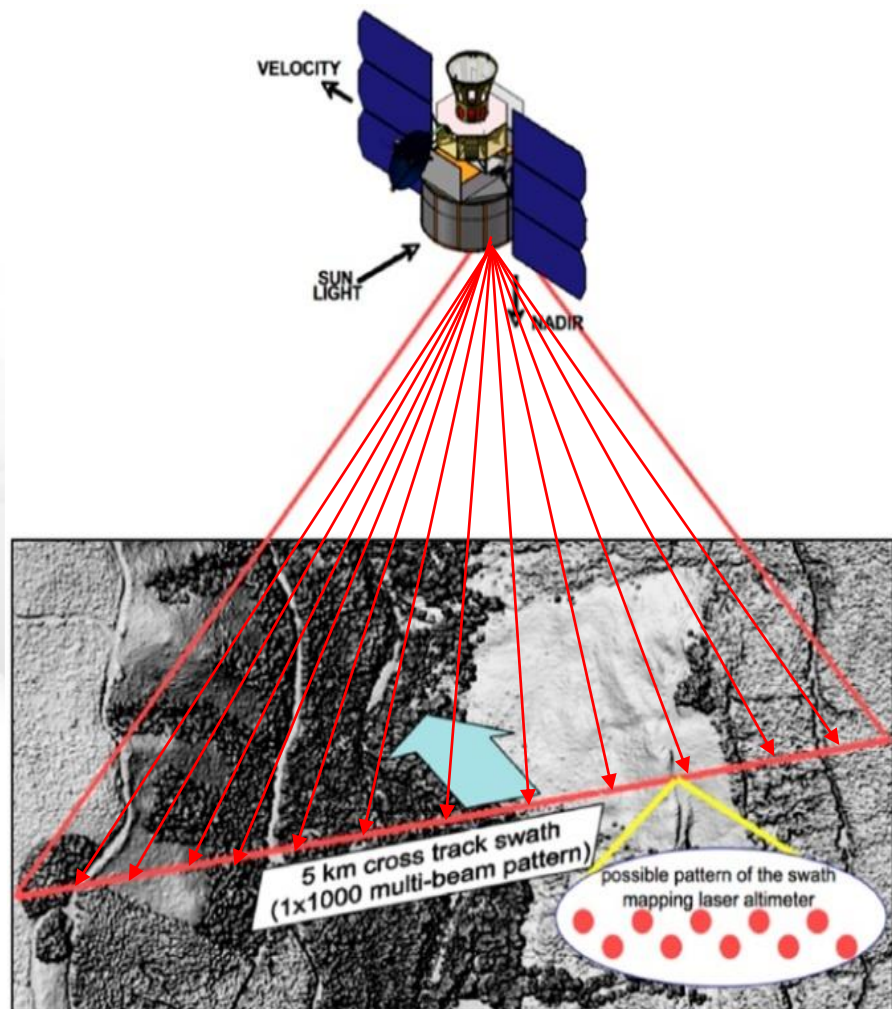


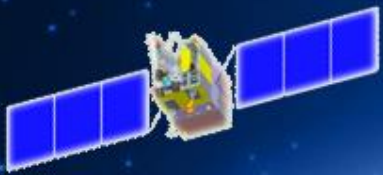


存在的问题及解决途径

多波束激光在轨几何定标技术

高精度的在轨几何定标是卫星激光测高数据能有效应用的前提，通过地面布设大面积的探测器主动捕捉卫星发射到地面的微弱激光信号，能有效且高精度地实现激光卫星在轨几何定标，但当**激光波束数大于2个时**，该方案的**工程难度、经济代价将非常大**，迫切需要对在轨几何定标技术进行创新和发展。多波束激光测高载荷一般综合采用多台激光器和光学衍射元件(DOE)分光模式实现几十甚至千百波束激光的同步密集测量，波束间具有一定的几何耦合关系。建议深入研究精细化地形特征匹配算法用于多波束激光在轨几何定标的可行性，研究新型可用于大范围、低成本、多波束在轨几何定标方法，研究波束间几何耦合关系与稳定性分析。

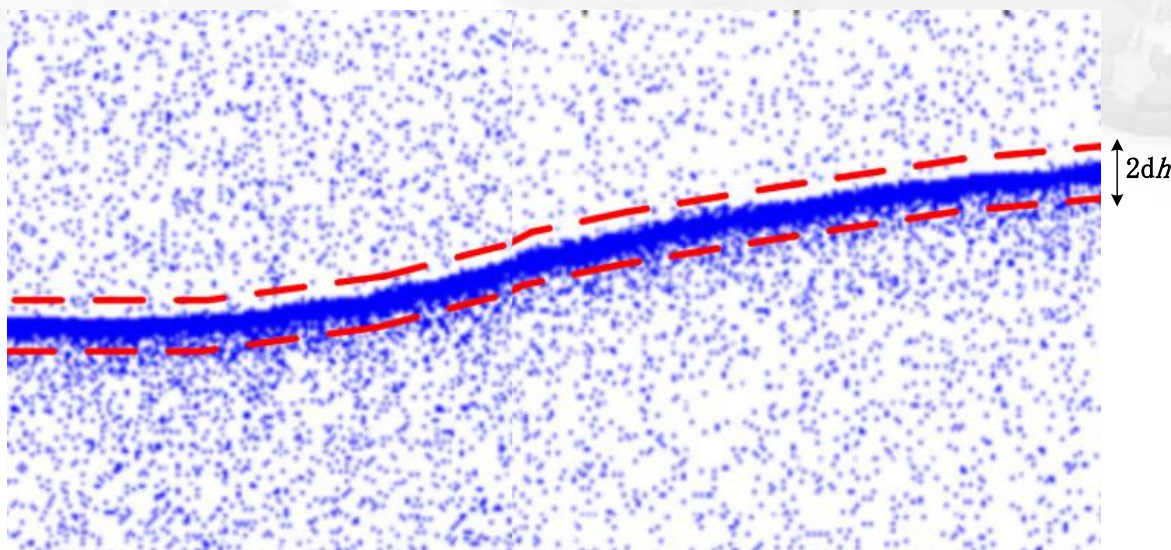


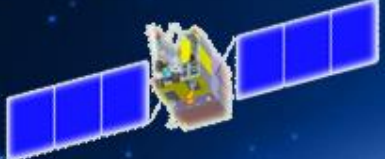


存在的问题及解决途径

高背景噪声有效剔除技术

光子探测模式的一个显著特点就是高背景噪声，特别是在受大气、雾霾以及复杂地形影响下，噪声更突出，信噪比更低，有效信号甚至可能被淹没在噪声中。除采用上述的距离门宽度动态调整尽量减少噪声外，还需要研究噪声自动滤除方法，结合分段局部高度直方图以及方向自适应的椭圆滤波核，实现噪声剔除和有效光子信号提取。需要针对原始的光子云数据，利用局部区域的地形坡度设定阈值，同时对该阈值进行动态调整，实现光子云数据的粗去噪





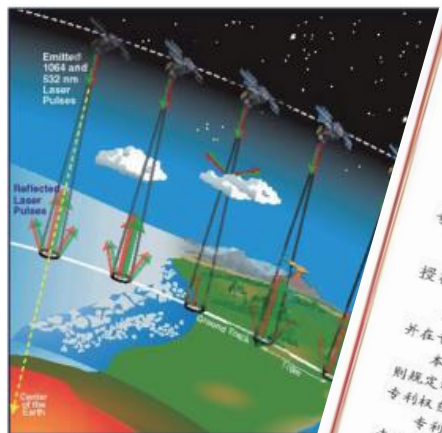
研究基础

近几年来，承担各类课题10余项，其中**国家自然科学基金3项**。发表SCI/EI等期刊论文近30篇，申请专利5项（已授权3项），出版**国内第一部关于国产对地观测卫星激光测高的专著1本**，成为国内外在该领域一支有影响力的技术团队。

第46卷
2017
E
G
Ab:
laun
analy
appli
altim
0.85 r
acco
accu

Development and Prospect of laser altimetry 激光测高卫星的发展与

■ 唐新明 李国元 （国家测绘地理信息局卫星测绘应用中心）



一直以来，国内有些学者对卫星激光测高（SLA）的技术产生混淆，而后两者技术发展相对较快，导致高卫星的发展。文章从3种技术对比入手，对国内未来几年对地观测激光测高领域的前端部署进行



卫星测绘系列专著

对地观测卫星激光测高数据处理方法与工程实践

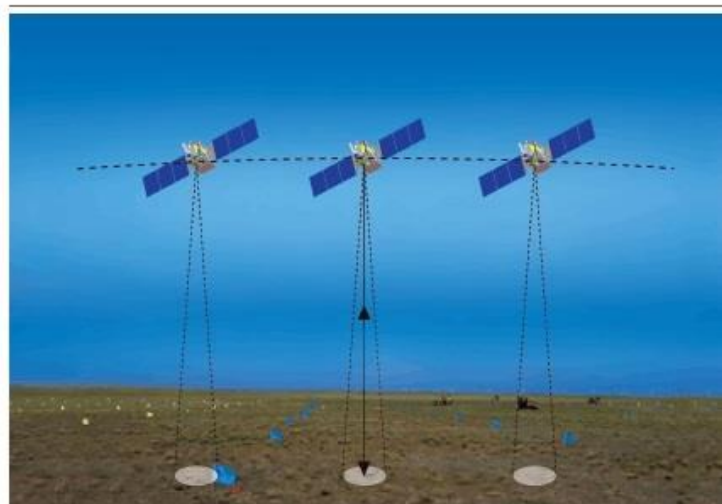
科学出版社



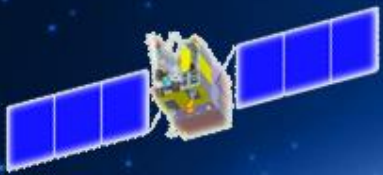
卫星测绘系列专著

对地观测卫星激光测高 数据处理方法与工程实践

唐新明 李国元 / 著



书
《激光高
决方案》
分应用
国家工程
实验室
年十月



总结与展望

随着“一带一路”倡议的不断深入，高精度、快速、高效的地理信息资源获取与监测技术显得越来越重要。国家对山水林田湖草全要素管理和监测的要求对国产遥感卫星提出了更大挑战和更高需求。

- 监测要素要从**从平面监测拓展到立体监测**；
- 监测范围要从内陆拓展到近海甚至大洋，**从陆地拓展到极地**；
- 监测精度要从1:50000拓展到1:5000甚至1:2000；
- 特别是**测高精度要从米级拓展到厘米级**。

集合多方力量，从载荷硬件、卫星平台、数据处理与定标、质量控制与应用等多方面发力，激光测高卫星将大有可为。





Thank You!

ligy_lasac@foxmail.com

—— 地理智慧 ⇌ 链接未来 ——
Geo-intelligence, Connecting the Future

2020 GIS 软件技术大会
GIS Software Technology Conference 2020